

Systemes d'élevage et transferts de fertilité

Etienne Landais

Philippe Lhoste

Hubert Guerin

Résumé La fumure animale est, dans la zone des savanes, la technique la plus fréquemment utilisée par les paysans pour maintenir la fertilité des champs permanents. La fonction fertilisante ainsi assurée par les herbivores domestiques met en jeu diverses fonctions physiologiques de l'animal : ingestion, digestion et excrétion, mais aussi mobilité. Dans la première partie de cette communication, les auteurs rappellent quelques grandes caractéristiques de la réalisation de ces fonctions biologiques en milieu tropical, en insistant sur les bilans organique, carboné et azoté de la digestion, ainsi que sur le coût énergétique de la mobilité animale. Dans la deuxième partie, ils abordent les pratiques de gestion de la fumure animale à travers lesquelles l'homme utilise les fonctions décrites précédemment. Les systèmes de gestion de la fumure sont divers et varient souvent d'une espèce à l'autre (bovins, petits ruminants, équidés) ; certains systèmes caractéristiques sont décrits, tels que le «parcage» mobile des champs, les parcs villageois fixes, le «parc tournant» des Peul, la stabulation à la concession sous diverses modalités. Les différents types de produits fertilisants obtenus dans ces systèmes sont présentés avec leurs caractéristiques analytiques (minérales) ; il s'agit des bouses, des terres de parc ou poudrettes, des «fumiers», etc. Quelques résultats synthétiques sur les effets agronomiques de la fumure organique sont ensuite rappelés. Dans la troisième partie, l'analyse est élargie de manière à replacer la fonction fertilisante dans l'ensemble des fonctions socio-économiques qui sont imparties à l'élevage, et dont la prise en compte permet de raisonner les améliorations possibles. Dans des systèmes agraires en voie de densification, où les relations agriculture-élevage prennent une importance croissante, l'organisation des transferts de fertilité est indissociable de la gestion de l'espace par les sociétés concernées. Sur le plan technique, l'accent est mis sur les difficultés tenant au transport des matières fertilisantes et sur le rôle essentiel que la traction animale peut jouer à ce niveau. Sur chacun de ces thèmes, cette analyse met en évidence certaines insuffisances des connaissances acquises et permet d'identifier des besoins de recherche prioritaires.

Introduction

Cette réflexion, fruit d'un travail d'équipe, comprend trois parties.

Nous nous intéresserons d'abord, dans la première partie, aux fondements biologiques de la fonction fertilisante des animaux. Cela justifie de revenir sur les fonctions biologiques fondamentales telles que la digestion, l'ingestion, l'excrétion et la mobilité chez les animaux. Une tentative de bilan est ensuite présentée.

Dans la deuxième partie, les pratiques paysannes de gestion de la fumure animale sont présentées avec leurs perspectives d'amélioration ; suivent quelques résultats expérimentaux sur la richesse et l'efficacité des produits fertilisants.

Un point de vue plus général, adopté en troisième partie, replace la fonction de fertilisation dans un contexte évolutif d'association de l'agriculture et de l'élevage.

Production de matières fertilisantes par l'animal

Rappel sur les fonctions physiologiques mises en jeu dans la fertilisation animale

La fonction fertilisante assignée aux herbivores domestiques, et principalement aux ruminants, met directement en jeu diverses fonctions physiologiques de l'animal :

- l'ingestion, qui règle le prélèvement opéré par l'animal au pâturage, ainsi que la consommation des aliments (fourrages et concentrés) qui lui sont distribués à l'auge ;

- la digestion, à travers laquelle l'animal transforme les aliments ingérés et prélève les nutriments qui sont nécessaires à son métabolisme ;

- l'excrétion, par laquelle il rejette à l'extérieur les résidus de la digestion (excrétion fécale) et du métabolisme (excrétion urinaire). Ce sont ces résidus qui nous intéressent particulièrement ici, en raison de leur intérêt pour la fertilisation du sol ;

- la mobilité, qui règle la distribution spatiale des prélèvements et des restitutions. Les transferts de fertilité opérés par l'animal sont directement liés aux rythmes saisonniers et quotidiens des déplacements du bétail.

L'ingestion, la digestion et l'excrétion dépendent dans une large mesure des caractéristiques des aliments qui sont proposés aux animaux. Ces caractéristiques sont classiquement décrites par la teneur des aliments en un certain nombre de constituants, selon un schéma analytique rappelé en figure 1.

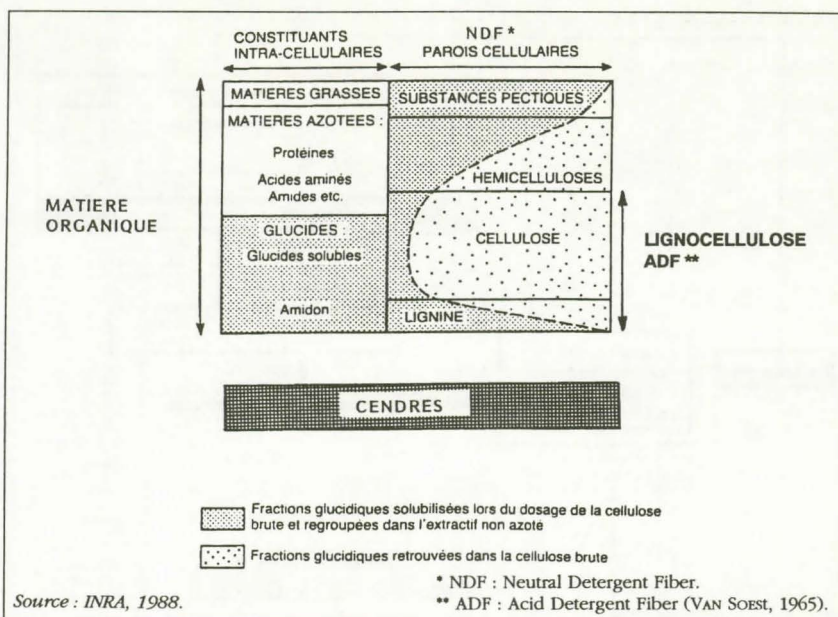


Figure 1 Schéma des constituants de la matière sèche des aliments et de leur fractionnement par la méthode d'analyse classique.

• L'ingestion dépend pour sa part de multiples facteurs, ainsi que le montre la figure 2. Elle résulte de l'arbitrage réalisé par l'animal entre sa propre capacité d'ingestion et l'offre alimentaire, qui dépend elle-même d'une part de la nature et de l'abondance des ressources exploitées, d'autre part des pratiques de conduite mises en œuvre dans le système d'élevage considéré. Dans tous les cas, l'animal trie dans l'alimentation qui lui est offerte pour composer sa ration. La composition de celle-ci est généralement plus riche en énergie et en azote digestibles que la composition moyenne des fourrages disponibles. La différence est d'autant plus marquée que les fourrages sont plus pauvres et hétérogènes, et qu'une plus grande latitude est laissée à l'animal dans ses déplacements, dans le choix de ses aliments et dans la fixation de son temps de pâture et de rumination.

La régulation physiologique de l'ingestion met en jeu divers mécanismes. Les plus importants concernent :

- la régulation de l'ingestion énergétique, en relation avec les besoins d'entretien, de déplacement et de production ; ce système de régulation n'intervient qu'exceptionnellement au pâturage ;
- la régulation physique de la quantité de matière sèche ingérée, liée à la vitesse de transit des aliments et à la réplétion du rumen ;
- la régulation des temps de rumination et de mastication (ingestion + rumination), qui sont limités.

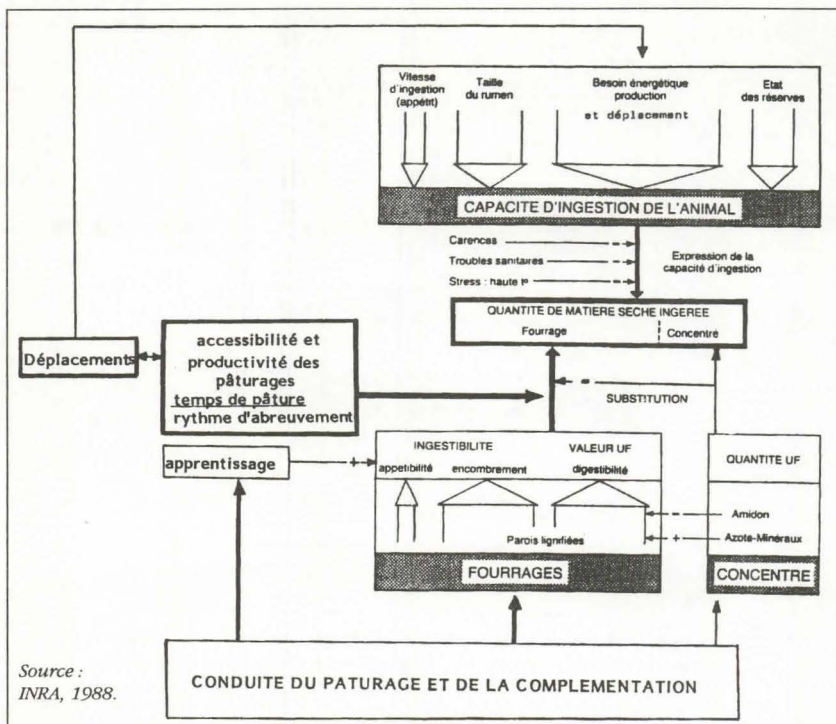


Figure 2 Principaux facteurs de variation de l'ingestion.

Pour une espèce donnée, la teneur du fourrage en constituants pariétaux (NDF), particulièrement en parois lignifiées (ADF ou lignocellulose), est le principal facteur de variation de la vitesse de digestion (mécanique et microbienne) dans le rumen et de la digestibilité *. Quand la teneur en ADF s'accroît au cours du développement des plantes, le temps de mastication (ingestion + rumination) augmente, de même que le temps de rétention moyen des particules dans le rumen **. De plus, la digestion est moins complète que pour un fourrage jeune, moins lignifié. En conséquence, l'effet d'encombrement du fourrage augmente avec la teneur en paroi et l'ingestibilité diminue ***.

* La digestibilité (apparente) d'un aliment est la proportion de sa matière organique (dMO) qui disparaît dans le tube digestif : $dMO = \frac{\text{quantité de matière organique ingérée} - \text{quantité de matière organique des fèces}}{\text{quantité de matière organique ingérée}}$. En plus de cette dMO, les Tables des aliments donnent la digestibilité de l'énergie (dE) et de certains constituants organiques : matières azotées, matières grasses, cellulose brute (INRA, 1988).

** Les aliments distribués sous forme non broyée, les fourrages plus particulièrement, sont retenus dans le rumen (+ réseau) pendant le temps nécessaire à leur réduction en fines particules sous l'action de la mastication lors de la rumination. Ils y exercent un effet d'encombrement, mesuré par la quantité de matière sèche présente dans le rumen, qui augmente en même temps que la proportion des tissus lignifiés parce qu'ils sont les plus résistants à la mastication (INRA, 1988).

• La digestion des aliments ingérés (fig. 3) passe par leur dégradation physico-chimique, qui résulte de divers processus : fragmentation des tissus végétaux, mise en solution des constituants solubles, attaque enzymatique par la microflore et la microfaune du tube digestif.

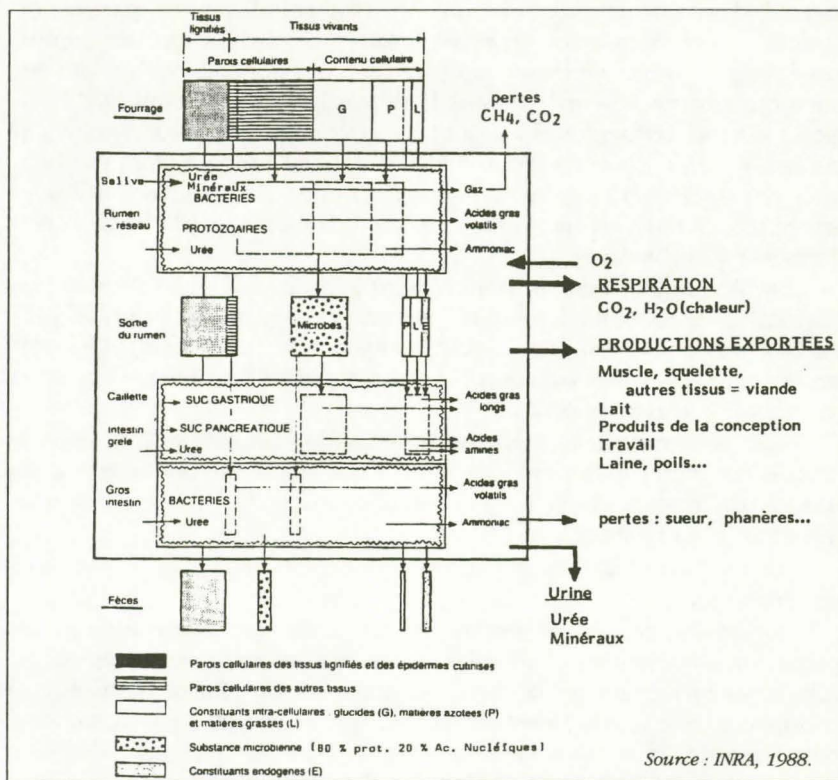


Figure 3 Schéma de la digestion d'un fourrage de bonne qualité (digestibilité de la matière organique de 70 %) et de sa répartition entre les principaux compartiments digestifs (représentés avec leur épithélium : devenir des principaux constituants ; formation et devenir des corps microbiens ; produits terminaux.

*** La capacité d'ingestion d'un animal, souvent appelée à tort *appétit*, désigne la quantité d'aliments que peut ingérer volontairement l'animal alimenté à volonté. Elle est fondamentalement déterminée par la dépense énergétique, donc par le niveau de production ; elle dépend aussi de caractéristiques anatomiques (taille du rumen...) et physiologiques (appétit). Exprimée en unités d'encombrement (UE), la capacité d'ingestion devient par principe indépendante de la composition de la ration. On compare la capacité d'ingestion d'animaux différents en leur distribuant à volonté la même ration.

Ingestibilité d'un fourrage (néologisme) : quantité de ce fourrage (matière sèche) qui est ingérée lorsqu'il est distribué à volonté comme seul aliment. On compare l'ingestibilité des différents fourrages en les distribuant à des animaux de même capacité d'ingestion ; le mouton standard de 60 kg a été utilisé pour établir les Tables. L'ingestibilité varie fondamentalement en sens inverse de la teneur en parois lignifiées du fourrage et de l'effet d'encombrement qu'il exerce dans le rumen. Elle dépend en outre de l'appétibilité du fourrage. Elle est exprimée en unités d'encombrement (UE) dans les Tables (INRA, 1988).

Les constituants solubles des fourrages (sucres, acides organiques, acides aminés libres, certaines protéines, substances pectiques) sont dégradés très rapidement et en totalité dans le rumen. Ils constituent le premier substrat utilisé par la flore microbienne après le repas. La cellulose et, dans une moindre mesure, les hémicelluloses des parois non lignifiées sont elles aussi dégradées dans une proportion très importante mais à un rythme beaucoup plus lent, qui dépend de l'activité des microorganismes, elle-même sous la dépendance des quantités d'énergie et d'azote fermentescibles dont ils disposent. Les tissus lignifiés et les épidermes recouverts d'une cuticule ne sont pratiquement pas attaqués par les bactéries cellulolytiques du rumen ou du gros intestin, et seront rejetés dans les fèces. Ils constituent l'essentiel de la fraction non digestible des fourrages.

Les microorganismes du rumen tirent leur énergie de la dégradation des chaînes carbonées des sucres provenant des glucides solubles, puis de l'hydrolyse de l'amidon, enfin de l'hydrolyse de la cellulose et des autres polysides des parois. Les principaux produits terminaux de la fermentation ruminale sont :

- un mélange d'acides gras volatils (acide acétique surtout dans le cas de fourrages pauvres) qui sont absorbés à travers la paroi du rumen, du réseau et du feuillet, et constituent la principale source d'énergie pour l'animal.

- des gaz (méthane et gaz carbonique) qui sont rejetés à l'extérieur par éructation ;

- un résidu contenant, en suspension dans une phase liquide, les particules alimentaires résiduelles des corps microbiens et des débris cellulaires provenant de la paroi du rumen et du réseau (constituants endogènes). Ce résidu constitue le flux qui va transiter par la caillette, puis l'intestin grêle où il est soumis à l'attaque enzymatique des sucs digestifs. Les principaux produits qui y seront absorbés sont :

- des acides gras longs provenant des aliments, auxquels s'ajoutent les acides gras microbiens,

- des acides aminés provenant essentiellement des protéines microbiennes et des protéines endogènes,

- de l'eau, des minéraux et certaines vitamines libérées par la digestion des corps microbiens.

Dans le gros intestin, le contenu digestif subit à nouveau l'attaque d'une population microbienne cellulolytique comparable à celle du rumen. Cette fermentation est généralement limitée parce qu'il reste peu de constituants dégradables, et par manque d'énergie.

- L'excrétion fécale représente le résidu terminal de la digestion. Elle est formée des constituants alimentaires non digérés, de corps microbiens et de constituants endogènes. Bien que très différente de celle des aliments ingérés, sa composition analytique en constitue dans une large mesure un reflet fidèle. Elle a donc été très étudiée, que ce soit dans le cadre de l'évaluation de la digestibilité des aliments ou dans la perspective de la «prédiction» de la nature et de la valeur nutrition-

nelle de la ration ingérée par des animaux au pâturage, à partir de leur excrétion fécale.

L'émission des matières fécales s'effectue de manière discontinue au cours des défécations qui interviennent en moyenne douze fois par 24 heures pour des bovins au pâturage disposant d'un fourrage de bonne valeur alimentaire (LANÇON, 1978). Ce rythme peut être ralenti pour des animaux ingérant des fourrages pauvres (ingestion plus faible, transit ralenti).

La consistance des fèces est plus ou moins caractéristique de chaque espèce animale. Pour une même espèce, elle varie selon leur teneur en eau (qui reflète la nature de la ration et le statut hydro-minéral des animaux) et leur fibrosité (qui reflète la richesse en parois indigestibles du fourrage). Les animaux tropicaux, fréquemment sous-alimentés en saison sèche et ingérant des fourrages secs et lignifiés, émettent des fèces sèches et fibreuses*.

Les quantités de matière sèche et de matière organique excrétées dans les fèces dépendent des quantités ingérées et de la digestibilité des aliments. Quoique leur plage de variation soit plus réduite que celle des quantités ingérées (qui, selon l'aliment et les besoins de l'animal, peuvent varier du simple – dans le cas d'un animal à l'entretien – à plus du double – dans le cas des femelles en lactation), puisque la digestibilité varie dans le même sens que l'ingestion, les quantités excrétées peuvent varier très largement au cours du temps et la norme souvent utilisée de 1 kg de MS fécale par 100 kg de poids vif et par jour n'en représente qu'une approximation assez grossière. La figure 4, issue de résultats obtenus par l'IEMVT et l'ISRA en milieu agropastoral au Siné-Saloum (Sénégal), fournit une idée de la variabilité de l'excrétion fécale entre espèces, entre saisons et entre années. Les différences constatées entre espèces résultent des différences existant au plan des rations ingérées dans un même milieu, sous l'influence de comportements alimentaires nettement tranchés (fig. 5) et de niveaux d'ingestion (exprimés par unité de poids) variables d'une espèce à l'autre.

Pour une même espèce, l'excrétion fécale varie non seulement d'une saison sur l'autre, mais aussi d'un parcours à l'autre, en fonction du disponible alimentaire, du temps de séjour au pâturage, du mode de conduite des animaux, etc. (fig. 6).

En milieu sahélien, d'importantes fluctuations saisonnières et inter-annuelles sont également relevées au plan de la composition des fèces (fig. 7).

La teneur en cendres dépend de la digestibilité de la matière organique, mais aussi des quantités de terre ingérées : la silice peut représenter 20 à 40 % de la MS des fèces. Cette teneur varie, au cours de la saison sèche et d'un parcours à l'autre, en fonction inverse de la dispo-

* La teneur moyenne en matières sèches des fèces de bovins exploitant des parcours tropicaux augmente de 15 % en début de saison des pluies à 30 % en pleine saison sèche ; pour les ovins, les valeurs correspondantes s'élèvent respectivement à 25 et 55 %.

nibilité en fourrages, les animaux ingérant de plus en plus de terre avec les débris végétaux qu'ils consomment. Au début de la saison des pluies, ils broutent des repousses herbacées très rases et souillées de terre à cause des pluies. La teneur en cendres des fèces s'élève alors très fortement jusqu'à 450 g/kg de MS. Elle décroît ensuite rapidement, parallèlement au développement de la végétation et surtout à la diminution de la digestibilité de la matière organique du fourrage.

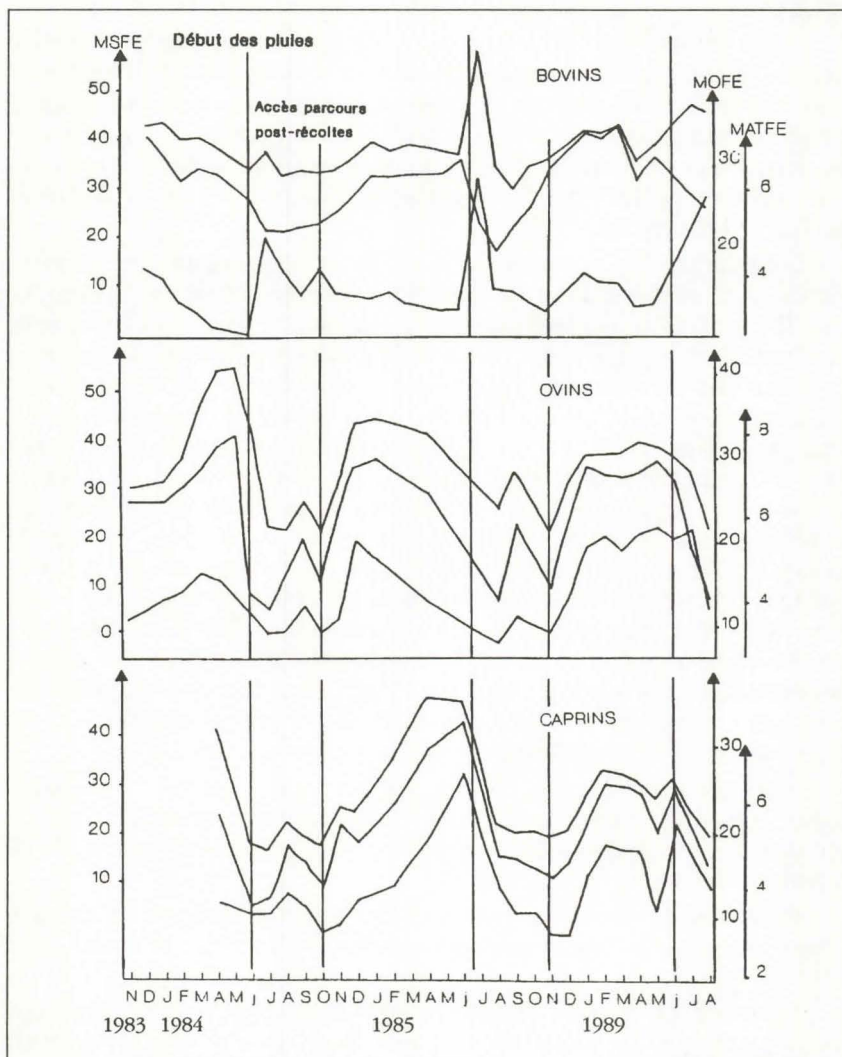


Figure 4 Evolution des quantités (en g/kg P^{0,75}) de matière sèche (MSFE, courbe supérieure), de matière organique (MOFE, courbe intermédiaire) et de matières azotées (MATFE, courbe inférieure) excrétées dans les fèces des ruminants en milieu agro-pastoral au Siné-Saloum (Thyssé-Kaymor, département de Nioro-du-Rip, Sénégal).

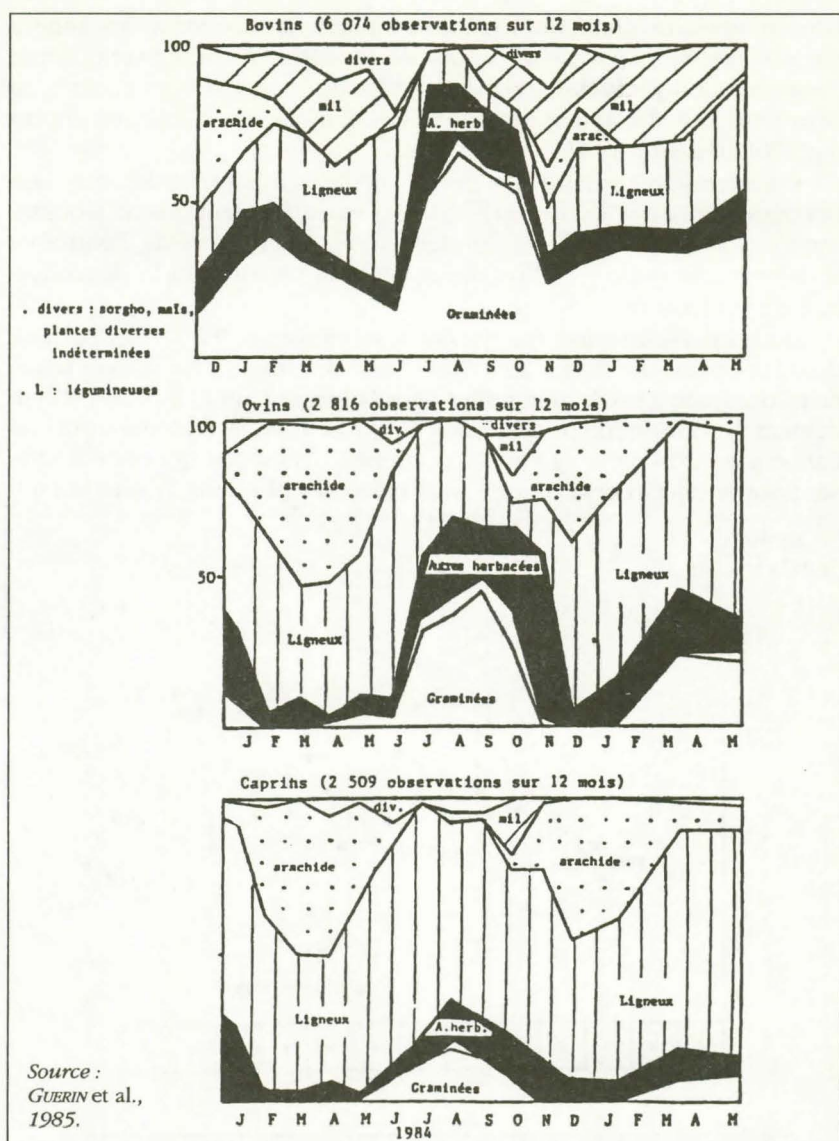


Figure 5 Composition botanique du régime des ruminants domestiques à Thyssé-Kaymor (Siné-Saloum, Sénégal).

La teneur des fèces en matières azotées varie comme celle du régime : très faible en fin de saison sèche, elle augmente brutalement au début de la saison des pluies, puis diminue progressivement jusqu'en décembre-janvier.

Les teneurs en cellulose brute et en ADF varient dans le même sens. Minimales en saison des pluies, elles augmentent progressivement jusqu'en novembre-décembre, en relation avec l'évolution des plantes

consommées. La diminution plus ou moins marquée selon les années qui est ensuite observée au cours de la saison sèche s'explique par l'augmentation progressive dans la ration de la part des graminées, au détriment des dicotylédones, dont la cellulose est beaucoup moins digestible (GUERIN, 1987).

- L'excrétion urinaire n'a pas le même statut physiologique que l'excrétion fécale. Elle concerne en effet exclusivement des métabolites sanguins et joue un rôle essentiel dans la régulation de l'équilibre hydro-minéral et du métabolisme azoté, tout en assurant la détoxification de l'organisme.

Les mictions urinaires interviennent en moyenne 9 à 10 fois par jour chez les bovins des zones tempérées mais ce rythme dépend très largement des quantités d'eau ingérées dans l'alimentation et lors de l'abreuvement. D'une manière générale, le volume et la concentration de l'urine sont extrêmement variables : pour les moutons qui ont été utilisés pour le calcul des bilans qui sont présentés plus loin, l'excrétion uri-

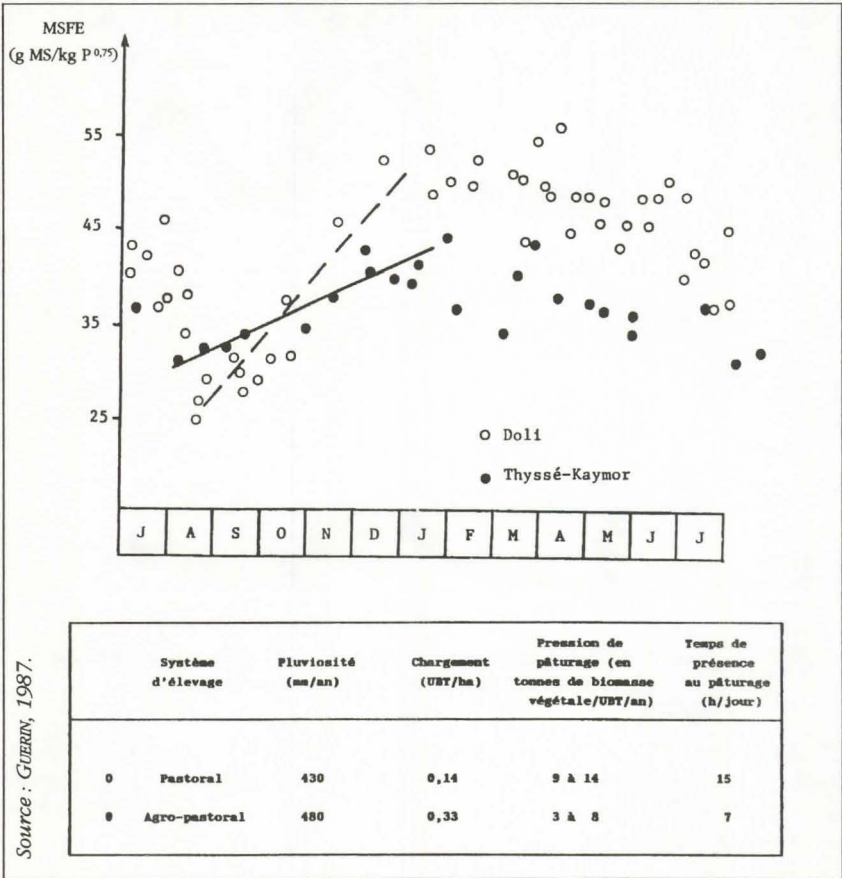


Figure 6 Quantités de fèces excrétées par des bovins suivant le système d'élevage, les ressources fourragères et le mode de conduite.

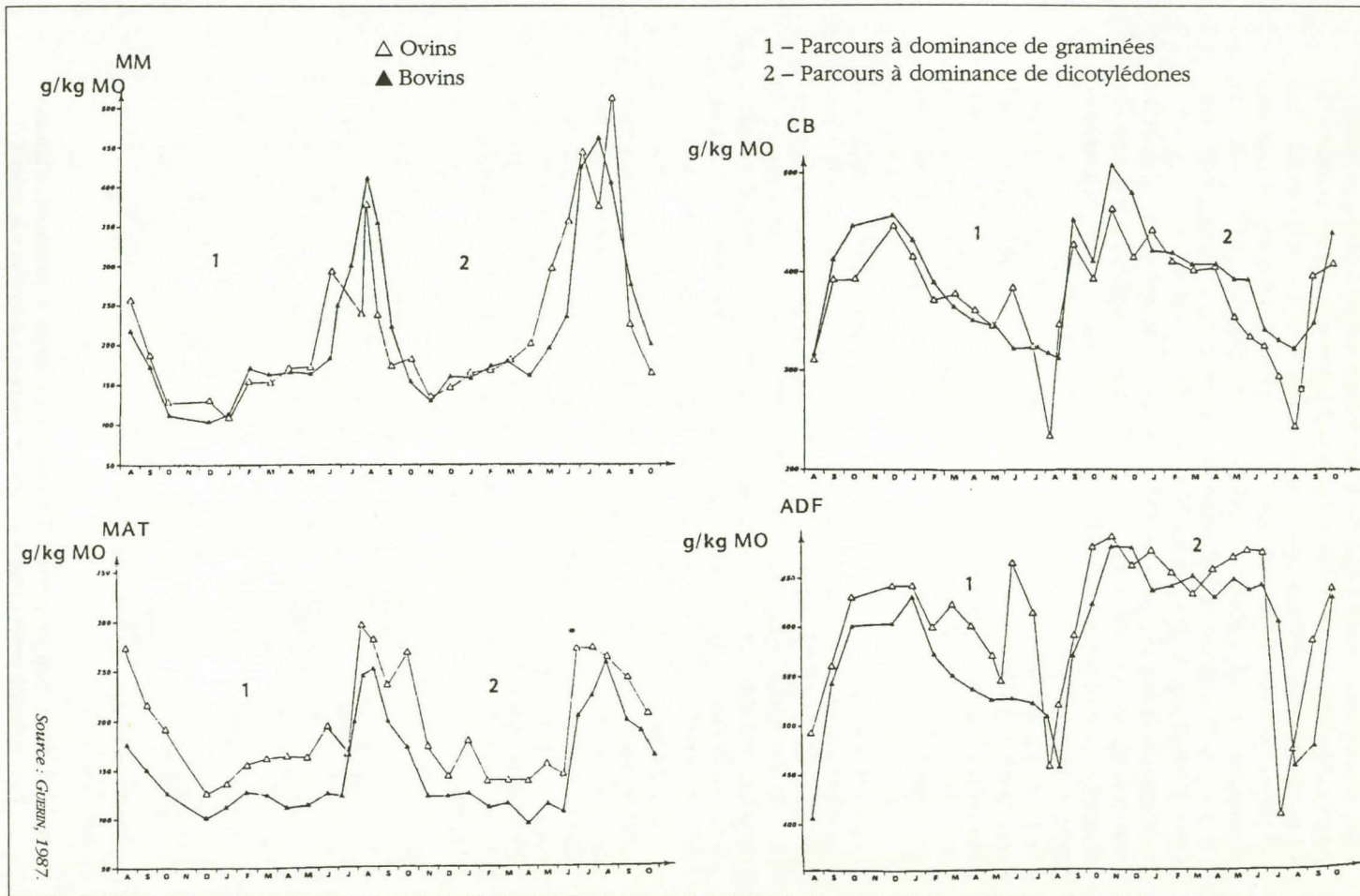


Figure 7 Evolution de la teneur en cendres, matières azotées, cellulose brute et ligno-cellulose (ADF) des fèces de ruminants exploitant les parcours de la région de Doli (Sénégal) entre 1980 et 1983.

naire a ainsi varié entre 3,4 et 3,9 l/100 kg de vif par 24 h pour des animaux en production (moyenne des lots A) et entre 1 et 2,5 l/100 kg de vif par 24 h pour des animaux à l'entretien (moyenne des lots B). Ceci ne donne qu'une faible idée des variations individuelles (il s'agissait d'animaux en cage abreuvés *ad libitum*) : SPEDDING (1971, cité par LANÇON, 1978) rapporte que l'excrétion urinaire du mouton peut varier entre 1,4 et 7,2 g de MS par kg de poids vif et par jour.

L'excrétion urinaire joue un rôle essentiel pour certains minéraux. La teneur sanguine en potassium et en sodium est contrôlée par le rein. En revanche, l'excrétion urinaire du phosphore et du calcium est pratiquement nulle, celle du magnésium est très faible (fig. 8).

La moitié environ du potassium urinaire est sous forme de chlorure, considéré comme très mobile et éminemment lessivable dans le sol. L'autre moitié, qui se trouve sous forme de carbonate et de bicarbonate, serait beaucoup plus stable. Au total, la rémanence du potassium excrété serait de 20 à 30 mois dans les sols des régions tempérées (LANÇON, 1978).

L'azote ammoniacal absorbé lors de la digestion ainsi que les groupements aminés libérés lors du catabolisme des acides aminés sont transformés en urée par le foie. L'urée ainsi formée est en partie recyclée par la salive et par diffusion à travers la paroi du tube digestif (fig. 3), en partie excrétée dans l'urine par les reins. L'importance du recyclage est d'autant plus grande que la teneur de la ration en azote dégradable dans le rumen est plus faible. L'urée endogène est la principale source d'azote pour la population microbienne du gros intestin.

L'azote urinaire se trouve, pour environ 75 %, sous forme d'urée. Le reste se partage entre des formes aminées (10-15 %) et diverses molécules, dont l'acide hippurique, la créatine, la créatinine et l'allantoïne. Toutes ces formes solubles sont facilement minéralisables et lessivables dans le sol. L'hydrolyse de l'urée s'accompagne localement d'une augmentation rapide et marquée du pH et de pertes par volatilisation et lessivage, qui dépendent étroitement des conditions de température et d'humidité.

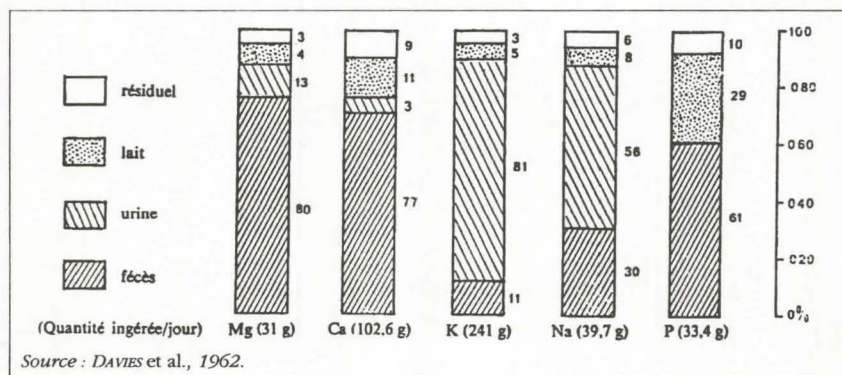


Figure 8 Excrétion d'éléments à travers fèces, urine et production laitière (en % des éléments ingérés chez des bovins laitiers au pâturage).

Approche en termes de bilan

Au-delà de son fonctionnement interne, dont nous avons tenté de rappeler brièvement les grands traits, l'animal peut être considéré comme une boîte noire dont le fonctionnement est saisi uniquement par la mesure des flux qui le traversent (fig. 9). Cette approche conduit à établir des bilans qui nécessitent des mesures précises sur des animaux placés dans des situations expérimentales contraignantes (cages individuelles) *. Elle est encore relativement rare dans les situations tropicales. Ces bilans sont généralement réalisés sur des ovins qui représentent l'animal standard pour les études d'alimentation-nutrition.

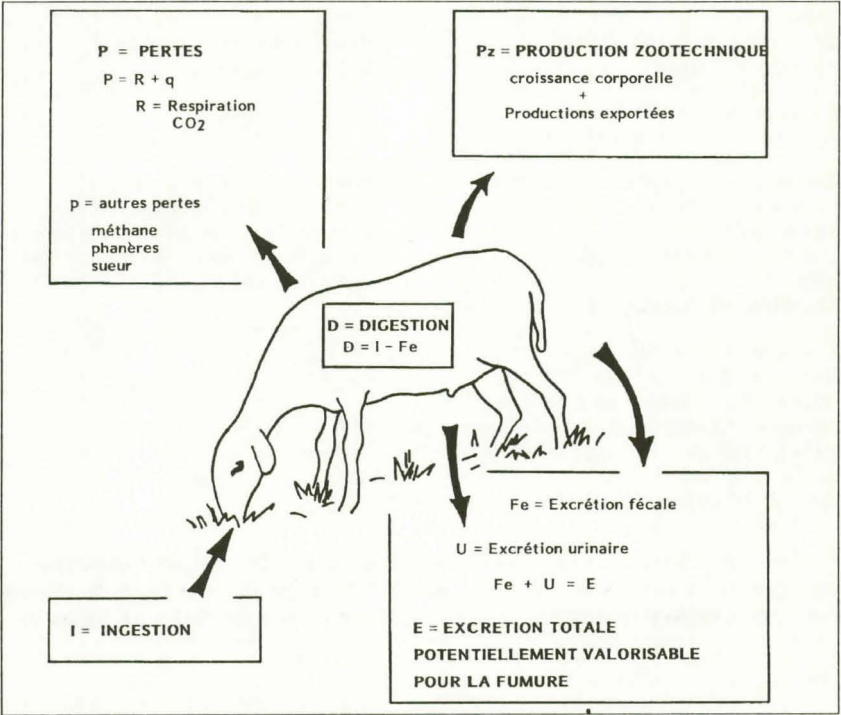


Figure 9 **Eléments des bilans d'utilisation des aliments.**

Nous avons établi, à titre d'exemple, quelques bilans d'utilisation par des ovins de la matière organique, de l'azote, des parois (NDF) et de la lignocellulose (ADF), à partir de données qui nous ont été communiquées par le programme Alimentation du bétail tropical réalisé en coopération au Sénégal par l'IEMVT et l'ISRA. Il s'agit d'ovins mâles de race Peul-Peul en fin de croissance et recevant deux types d'alimentation bien différents : les résultats du groupe B (moyenne de 5 essais réalisés chacun sur

* Cependant, des mesures beaucoup plus lourdes, plus délicates sur le plan technique et moins précises sont parfois réalisées dans les conditions du pâturage.

6 animaux) ont été obtenus avec des fourrages pauvres couvrant à peu près les besoins d'entretien, tandis que ceux du groupe A (2 essais) correspondent à des rations d'engraissement équilibrées, riches en énergie, en azote fermentescible et en protéines de bonne qualité permettant des gains quotidiens moyens de l'ordre de 150 g (tabl. I). Ces bilans sont résumés par les données présentées dans les tableaux II et III. A titre de comparaison, le tableau IV propose quelques bilans établis en Europe sur ovins (mesures en cages) et vaches laitières (éléments de bilans reconstitués par le calcul, pour des animaux au pâturage, ingérant des rations moins riches que celle qui est proposée aux ovins de nos lots A).

Tableau I Descriptif des lots utilisés pour les bilans (valeurs moyennes).

Lots A	Lots B
12 moutons mâles Peul-Peul 2 lots de 6 animaux	30 moutons mâles Peul-Peul 5 lots de 6 animaux
Poids vif moyen : 31 kg Gain moyen quotidien : 160 g	Poids vif moyen : 27 kg Gain moyen quotidien : 0 g
Régime : ration de base + concentré Pailles de riz traitées à l'urée, 53 % Mélasse, 24 % Tourteau d'arachide, 21 % Urée, 1,6 % Complément minéral, 1,1 %	Fourrages grossiers seuls Foin de <i>Chloris gayanus</i> (2 lots) Foin de <i>Panicum maximum</i> (1 lot) Pailles de riz traitées à l'urée (1 lot) Paille de riz (1 lot)
Digestibilité de la MS : 66 % Ingestion MSVI = 3,70 kg/100 kg PV Apport énergétique = 59 g MOD/kg P ^{0,75} Niveau d'alimentation ≈ 2,2 fois l'entretien Excrétion fécale : 1,25 kg PV/100 kg QV	54 % 2,37 kg 28 g ≈ 1,0 fois l'entretien 1,08 kg

Source : Programme ABT, IEMVT-ISRA (non publié).

Tableau II Bilan de l'utilisation par le ruminant de l'énergie, de l'azote et des constituants pariétaux de l'alimentation (%). Exemple de deux types de rations en zone sahélo-soudanienne (pour l'explicitation des symboles, cf. figure 9).

Lots *		A	B			A	B
Bilan matière organique (énergie)	I **	100 (3 100)	100 (2 030)	Bilan parois (NDF)	I **	100 (1 200)	100 (1 780)
	Pz	18	± ε		Fe	49	37
	Fe	30	42				
	U	3	< 1				
	E	33	43				
	R + p	49	57				
Bilan azote	I **	100 (158)	100 (25)	Bilan lignocellulose (ADF)	I **	100 (780)	100 (978)
	Pz	52	± ε		Fe	51	37
	Fe	16	60				
	U	27	25				
	E	43	85				
	p	5	15				

Source : Programme ABT, IEMVT-ISRA (non publié).

* Cf. tableau I. ** Entre parenthèses : valeur de l'ingéré (g).

**Tableau III Bilan de la transformation par le ruminant des aliments
en matières organiques potentiellement fertilisantes.
Exemple de deux types de rations en zone sahélo-soudanienne.**

		Composition (g/kg MS)		Digestibilité (%)	Excrétion (g/kg MS) ingéré	
		Aliment	Fèces		Fécale	Urinaire
Mouton sahélien en croissance-- engraissement intensif (Sénégal) : lots A *	MO	840	730	70	250	ε
	N	43	21	84	7	ε
	CB **	160	210	57	69	—
	NDF	330	480	50	165	—
	ADF	210	310	48	108	—
Mouton sahélien à l'entretien (Sénégal) : lots B *	MO	860	800	58	360	ε
	N	12	16	40	7	3
	CB **	350	270	68	112	—
	NDF	720	580	63	266	—
	ADF	420	340	63	155	—

Source : Programme ABT, IEMVT-ISRA (non publié).

* Cf. tableau I. ** Cellulose brute.

Tableau IV Eléments de bilans de l'utilisation de l'énergie et de l'azote alimentaires par des ruminants (pour l'explicitation des symboles, cf. figure 9).

a) Ovins mâles castrés. GMQ = 86 g (Grande-Bretagne). D'après BLAXTER et GRAHAM, 1955.

Bilan énergie	I	100	Bilan azoté	I	100
	D	60		D	66
	Pz	13		Pz	5
	Fe	40		Fe	34
	U	5		U	61
	E	45		E	95
	R	37			
	p	5			

b) Vache laitière au pâturage (France). Production de l'ordre de 5 000 kg/an. D'après PEYRAU, 1990 (communication personnelle).

Bilan azote	I	100
	D	78
	Pz	28
	dont lait	20
	gain de poids	8
	Fe	22
	U	48
	p	2

c) Bovins-viande au pâturage (France). D'après GACHON *et al.*, 1978.

Bilan énergie	I	100
	Pz	7
	E	31
	P	62

Utilisation de l'énergie alimentaire et coût énergétique des déplacements

Les besoins énergétiques des animaux sont couverts en totalité par l'énergie fournie par la dégradation des chaînes carbonées des aliments. Chez les ruminants, on décompose classiquement l'énergie brute des aliments (énergie calorifique) en différentes fractions : énergie des fèces, pertes (méthane, urine), extra-chaleur (correspondant au coût énergétique du métabolisme) et énergie nette, disponible pour l'entretien, le déplacement et les productions (fig. 10). La digestibilité de la matière organique constitue le principal facteur de variation de la teneur d'une ration en énergie nette, et la quantité d'énergie nette disponible est pratiquement proportionnelle à la quantité de matière organique digestible ($0,1 \text{ UFL} = 79 \text{ g de MOD}$).

Les besoins d'entretien varient selon le poids des animaux. On considère souvent qu'ils sont directement proportionnels à leur « poids métabolique », c'est-à-dire à leur poids exprimé en kg et élevé à la puissance 0,75. Ainsi, pour des brebis, les besoins d'entretien s'élèvent à $0,033 \text{ UFL/kg P}^{0,75}$ soit 26 g de MOD (INRA, 1978). Cette valeur s'applique également aux races tropicales. Pour un animal donné, on considère que les besoins d'entretien varient peu dès lors que son niveau d'alimentation dépasse l'unité, c'est-à-dire lorsque l'apport de MOD est supérieur aux besoins d'entretien. On sait en revanche qu'en cas de sous-alimentation des mécanismes d'adaptation physiologique conduisent à une amélioration progressive de l'efficacité de l'utilisation de l'énergie alimentaire, et par conséquent à une réduction très sensible du coût énergétique de l'entretien (LEDGER et SAYERS, 1977 ; TURNER et TAYLOR, 1983).

Les besoins de déplacement varient selon la durée et la vitesse des déplacements, ainsi que la pente du sol. Sur sol plat, on estime le coût énergétique moyen d'un déplacement de 1 km à $0,026 \text{ UFL/100 kg de poids vif}$, soit $20 \text{ g MOD/100 kg PV}$.

L'activité physique correspondant à la prise alimentaire (recherche et préhension) accroît par ailleurs les dépenses d'entretien calculées par référence à des animaux immobiles, affouragés à l'auge. Au total, l'activité de déplacement occasionnée par la recherche d'herbe et d'eau entraîne une augmentation très sensible des besoins énergétiques, de l'ordre de 20 % des besoins d'entretien dans le cas d'une herbe abondante et de bonne qualité, de 70 % pour des moutons sur parcours en France et de 100 % ou davantage pour des animaux tropicaux effectuant des déplacements très importants pour ingérer des rations sèches et fibreuses sur des pâturages peu productifs (fin de saison sèche).

La mobilité des animaux mise en jeu dans les transferts de fertilité a donc un coût élevé, qui se traduit à la fois par la diminution de l'énergie nette disponible pour la production zootechnique et, en termes agronomiques, par la dispersion sur les parcours non cultivés des fèces et des urines émises pendant les déplacements.

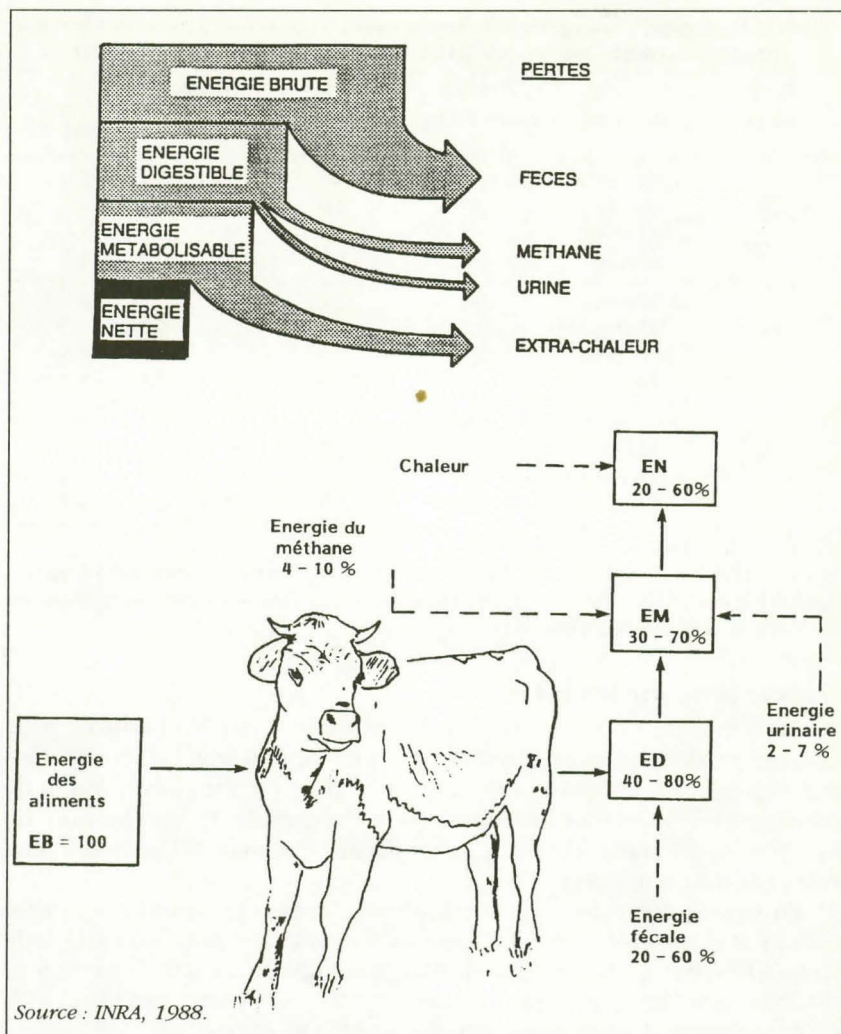


Figure 10 Utilisation de l'énergie par le ruminant. L'énergie nette couvre les dépenses énergétiques de l'animal.

Le travail animal (traction attelée) qui peut également être mis en jeu dans les processus de fertilisation (transport de matières fertilisantes) a lui aussi un coût énergétique élevé (tabl. V).

Les dépenses d'énergie liées à l'entretien et aux activités physiques, ainsi que l'extra-chaleur, se traduisent par la production de chaleur et de gaz carbonique évacués par la respiration. L'énergie nette qui reste disponible pour la production zootechnique est utilisée pour des synthèses organiques diverses, dont l'activité règle le niveau de la fixation de l'azote provenant de la digestion.

Tableau V Apports énergétiques recommandés (UFL/jour) pour des bovins tropicaux adultes attelés par paire et effectuant un travail régulier.

Poids (kg)	Intensité du travail	Effort de traction (kg)	Vitesse (km/h)	Durée du travail		
				4h	6h	8h
250	Très élevée	35	2,0	4,3	5,2	
	Elevée	30	2,0	4,2	4,8	
	Moyenne	25	2,5	4,0	4,6	5,2
	Légère		3,5	3,5	4,0	4,5
350	Très élevée	50	2,0	5,4	6,5	
	Elevée	42	2,5	5,3	6,1	
	Moyenne	35	2,5	5,1	5,8	6,5
	Légère		3,5	4,5	5,1	5,7
450	Très élevée	63	2,5	6,7	8,1	
	Elevée	54	2,5	6,5	7,6	
	Moyenne	45	3,0	6,3	7,1	8,1
	Légère		4,0	5,3	6,0	6,8

Source : INRA, 1988.

Tiré des données de GOE (1983). La digestibilité de la matière organique des rations ingérées a été estimée égale à 53 %, ce qui conduit à une valeur énergétique de 0,57 UFL/kg de matière sèche

Conclusion sur les bilans

Au terme de ce rapide survol de l'utilisation par les herbivores de leur ration alimentaire, il importe de conclure à la fois en termes zootechniques et en termes agronomiques : il n'est en effet pas possible de considérer l'animal uniquement sous l'angle de la production de matières fertilisantes (cf. infra, La fertilisation animale au sein des relations agriculture-élevage).

En termes zootechniques, l'animal peut apparaître comme un piètre utilisateur des constituants des aliments qu'il ingère. Entre 70 et 100 % de la MOD (donc de l'énergie alimentaire) sont consacrés à l'entretien et dissipés sous forme de chaleur et de CO₂ par les animaux des lots A et B respectivement. La fourchette serait encore plus étroite (85 à 100 %) s'il s'agissait d'animaux au pâturage. La fixation de l'azote alimentaire varie dans une large mesure en fonction du régime : 0 à 50 % de l'azote ingéré, soit 0 à 60 % environ de l'azote digestible pour les lots B et A respectivement. Dans les conditions des essais présentés, la digestibilité des fractions NDF et ADF (parois) n'est pas significativement différente. Elle se situe aux alentours de 60 à 70 % dans les lots B et de 50 % dans les lots A. Elle est améliorée dans les rations pauvres, comme en témoignent les résultats obtenus par les lots B qui recevaient de la paille de riz brute (digestibilité des fractions NDF et ADF voisine de 60 %) ou traitée à l'urée (70 %), qui peuvent être comparés à ceux des lots A, qui recevaient le même fourrage, traité à l'urée (digestibilité de l'ordre de 50 % seulement pour les mêmes fractions). Un bilan minéral ferait état de rendements faibles. Pour fixer les idées, on peut estimer qu'un troupeau produisant 1 000 litres de lait exporte seulement 1,5 kg

P₂O₅, 1,8 kg K₂O, 1,8 kg CaO et 5,5 kg N. Qu'un troupeau produisant 100 kg de viande ne fixe que 1,9 kg P₂O₅, 0,5 kg K₂O, 2,3 kg CaO et 3 kg N (LANÇON, 1978, pour des animaux européens).

Les bilans des lots B donnent une image du statut alimentaire de beaucoup d'animaux des zones sahélienne ou soudano-sahélienne durant la seconde moitié de la saison sèche. Dans bien des cas, on parviendrait même, bien entendu, à des bilans énergie, C et N négatifs (mobilisation des réserves corporelles se traduisant par des pertes de poids). Les bilans des lots A, en revanche, ne traduisent pas fidèlement le statut alimentaire des mêmes animaux au pâturage au cours des mois favorables de la saison des pluies et du début de la saison sèche. La ration distribuée aux animaux d'expérience, plus proche des rations d'embouche distribuées à certains animaux de case, était en effet particulièrement riche en énergie et en azote. En moyenne, des animaux au pâturage en saison des pluies ingèrent une ration plus riche en fibres (mais moins lignifiée), moins digestible, moins énergétique et plus pauvre en azote. La fixation de carbone ne dépasse pas dans ces conditions 10-12 % de l'ingéré et celle de l'azote 5 à 15 %, selon nos estimations.

En termes agronomiques, on s'intéresse à la fois aux quantités restituées, à la composition des excréta et à leur forme physico-chimique, en relation avec leur devenir dans les sols. Nous ne reviendrons pas sur les quantités excrétées, qui ont été traitées plus haut.

La composition des fèces doit être interprétée après correction pour les variations de leur teneur en silice qui, nous l'avons vu, varie principalement en fonction de l'ingestion de terre, conduisant à des restitutions dénuées de tout intérêt agronomique. Les autres minéraux (ainsi que la silice provenant des tissus végétaux) sont intégrés dans les particules résiduelles issues des tissus lignifiés et des épidermes cutinisés.

La matière fécale se compose d'un ensemble de particules dont l'ossature est constituée de débris lignifiés qui ont protégé de la digestion une partie de la cellulose et des hémicelluloses des parois. Sur ces particules sont adsorbés les débris cellulaires endogènes et les corps microbiens provenant du tube digestif. La taille des particules fécales est remarquablement stable quels que soient les régimes alimentaires et les races animales. La très grande majorité des particules présente ainsi un diamètre moyen de l'ordre de 0,5 à 1 mm chez les ovins, de 1 à 2 mm chez les bovins. Une faible proportion de particules fécales dépasse ces dimensions, ou ont au contraire une taille plus petite pouvant ne pas excéder quelques microns.

L'animal réalise ainsi de manière très rapide (24 à 72 heures) une étape de fragmentation homogène qui est essentielle pour le processus d'incorporation au sol de la matière organique végétale (PIERI, 1989).

Le rapport C/N des dépôts fertilisants est un indicateur de leur devenir dans les sols : des valeurs élevées de ce rapport favorisent la minéralisation de la matière organique par stimulation du métabolisme microbien hétérotrophe (l'apport d'énergie domine), tandis que des valeurs basses facilitent l'accumulation de matière organique dans la fraction organo-minérale et favorisent ainsi l'humification (PIERI, 1989).

Ainsi que l'indiquent les bilans présentés plus haut, le rapport C/N des excréta totaux est diminué, par rapport à celui des fourrages pauvres, dans une proportion variant entre 30 et 60 %. Cependant, cette conclusion doit être nuancée car l'essentiel de l'azote est éliminé sous forme soluble dans les urines. Si l'on ne considère que les fèces, le rapport C/N est diminué (par rapport aux aliments) dans une proportion de l'ordre de 30 % pour les rations composées de fourrages pauvres (lots B) tandis qu'il est augmenté pour les rations riches, notamment celles qui intègrent un apport azoté très digestible sous forme de concentré ou d'urée (lots A). Ce rapport est probablement peu modifié pour des animaux pâturant des fourrages jeunes en saison des pluies.

La teneur des fèces en fractions pariétales (NDF et ADF) est diminuée par rapport à celle des aliments, dans le cas des fourrages pauvres (- 45 % de NDF en moyenne dans la matière organique pour les lots B), augmentée dans les régimes riches (lots A : + 65 %), en relation avec les variations de la digestibilité des parois. Dans tous les cas, la teneur des fèces en NDF reste élevée et supérieure à 50 % la majeure partie de l'année. La figure 7 fournit des éléments relatifs à la teneur des fèces en ADF, qui est de l'ordre de 45 % dans les bilans, pour les deux groupes d'animaux étudiés. En toute hypothèse, il est clair que le rapport NDF/contenu cellulaire, qui intéresse les agronomes dans la perspective de l'humification (PIERI, 1989), est sensiblement augmenté par le passage dans le tube digestif de l'animal mais les données dont nous disposons ne nous permettent pas de chiffrer cette évolution *

Au total, l'activité des herbivores domestiques exerce un rôle important dans le cycle du carbone et des éléments trophiques contenus dans la phytomasse épigée en créant une sorte de «circuit court» qui s'oppose aux «circuits longs» qui permettent le recyclage de ces éléments dans le sol par d'autres voies (GACHON *et al.*, 1978). La fragmentation opérée par la mastication et les autres phénomènes digestifs est complétée par l'attaque enzymatique due aux sucs digestifs et par la fermentation microbienne, dont l'intensité est incomparablement plus élevée que celle qui intervient au niveau du sol. La rapidité de ce cycle est un facteur important de son rendement, apprécié en termes écologiques : l'intensification de la charge animale (jusqu'à un seuil variable selon les systèmes considérés) et l'augmentation consécutive de la quantité des matières végétales qui transitent par le tube digestif des herbivores accélèrent le cycle des éléments trophiques, améliorent le rendement humique et aboutissent à une véritable stimulation biologique de l'écosystème (GACHON *et al.*, 1978).

Le taux de minéralisation de la matière organique d'origine animale est plus élevé que celui des végétaux morts (KAJAK, 1974, cité par LANÇON, 1978), ceci concernant essentiellement les fractions endogène et

* Sur parcours agro-pastoraux en zone sahélo-soudanienne, la teneur en ADF des régimes des bovins varie au cours de l'année entre 30 et 50 % de la MS, tandis que celle des fèces est comprise entre 45 et 65 % de MS, la liaison entre les teneurs en NDF et en ADF restant constamment élevée.

microbienne des fèces, dont le rapport C/N inférieur à 10 représente un apport équilibré pour la population microbienne des sols. Les fractions lignifiées et cutinisées des fèces, réduites en fines particules, constituent par ailleurs des substances préhumiques particulièrement intéressantes en termes agronomiques, l'efficacité des processus d'humification les concernant étant améliorée, lorsque l'azote urinaire est perdu, par la disponibilité dans le sol de sources azotées complémentaires.

L'ensemble des phénomènes physiologiques mis en jeu dans la «fonction fertilisante» assignée à l'élevage est aujourd'hui relativement bien connu. Les études se poursuivent sur la composition des rations ingérées par les herbivores tropicaux au pâturage et leurs retombées continueront d'enrichir nos connaissances sur l'excrétion fécale et urinaire de ces animaux. Même si la valorisation de ces connaissances en termes de bilans utilisables par les agronomes reste insuffisante, on peut conclure que le renforcement des recherches sur le thème de la fertilisation animale ne nécessite pas, à l'heure actuelle, de recherches spécifiques au plan de l'animal.

Les systèmes de gestion de la fumure animale

Nous abordons, dans cette deuxième partie, les pratiques par lesquelles les producteurs agricoles mettent à profit les mécanismes biologiques décrits plus haut, en termes de gestion de la fumure animale. Nous traiterons, à ce propos, de trois thèmes :

- la diversité des pratiques de gestion de la fumure animale ;
- la diversité qualitative des produits utilisés pour la fumure organique animale ;
- les effets agronomiques de la fumure animale (ce dernier volet, qui fait l'objet d'autres exposés dans ces rencontres, ne sera pas très développé ici).

La diversité des pratiques de gestion de la fumure animale

Nous distinguerons de façon quelque peu arbitraire, car les frontières ne sont pas évidentes, les pratiques traditionnelles et les pratiques améliorées.

Les pratiques traditionnelles

Trois systèmes traditionnels sont couramment rencontrés en zone de savane africaine.

*Le parage de nuit au piquet
avec translation du dispositif sur les parcelles*

Ce système décrit par divers auteurs sous le simple nom de «parage» consiste à immobiliser les animaux pour la nuit sur les parcelles après la récolte ou, en saison des pluies, sur des jachères. Les animaux

sont, en général, attachés par les cornes à un piquet, ou parfois un arbre ou un tronc d'arbre, s'il en reste ; les positions relatives des animaux dans le dispositif sont en général respectées lors des déplacements de celui-ci ; l'ensemble du «parc» est en effet généralement translaté d'une parcelle à l'autre ou sur la même parcelle, à un rythme variable (de quelques jours à une quinzaine de jours au maximum), de manière à répartir les déjections (SONKO, 1986 ; LHOSTE, 1986).

Cette technique du parage, très commune en zone soudano-sahélienne, est le moyen privilégié utilisé pendant la saison sèche pour la fertilisation des champs de céréales qui forment la première auréole autour du village («Tol keur» en Wolof au Sénégal ou «Pom bod» en Sereer). En saison des pluies, le parage est moins systématique ; il peut, dans le meilleur des cas, avoir lieu sur les jachères assolées, destinées à une remise en culture l'année suivante. Parfois, pour limiter les risques de dégâts sur les cultures avoisinantes, les troupeaux sont rejetés en dehors des zones de culture et ils parquent alors dans des parcours boisés, avec un gaspillage certain de la fumure organique.

L'intérêt de cette technique tient au fait que les transferts sont assurés par les animaux ; il y a, assurément, très peu d'investissement (cordes, piquets...) et l'ensemble des déjections (fèces et urines) est bien déposé sur les parcelles durant les temps de séjour concernés, qui sont couramment de 14 h sur 24. Les dépôts de fèces peuvent être estimés dans ces conditions (SONKO, 1986) par une formule qui intègre le poids des animaux, le temps de séjour par 24 h et le nombre de nuitées. Les quantités déposées sont de l'ordre de 50 kg de MS de fèces par UBT et par mois, soit 600 kg de MS de fèces par UBT et par an *.

Ce système a longtemps permis de valoriser les déjections animales des troupeaux transhumants par le biais des «contrats de fumure» traditionnels passés entre des agriculteurs sédentaires dits «logeurs» et des pasteurs venus, pour la saison sèche, d'une autre région. Ce type de contrat se fait aujourd'hui plus rare, en raison de la détérioration de beaucoup de terroirs africains.

Les parcs de nuit mobiles

Ce sont notamment les pasteurs Peul qui parquent leurs animaux dans de petits enclos d'épineux sur leurs propres parcelles de culture, durant l'intersaison agricole, ou sur les zones défrichées et destinées à être cultivées (BERNARDET, 1984). Ce système est souvent fondé sur un rapport très favorable entre l'effectif du cheptel, et donc les surfaces pâturées, et les surfaces à fertiliser ; les transferts de fertilité sont donc, dans ces conditions, importants et concentrés sur des surfaces limitées.

* Nous avons retenu la norme moyenne suivante : l'UBT (unité de bétail tropical, d'un poids standard de 250 kg vifs) qui ingère environ 2 300 kg de MS/an (soit 6,25 kg par jour) excrète environ 1 000 kg de MS/an. Comme nous l'avons vu en première partie, ces quantités de fèces excrétées peuvent varier assez fortement avec la saison (fig. 4). La quantité moyenne de 600 kg de MS déposée tient compte du temps habituel de séjour sur la parcelle.

Il faut préciser que ces éleveurs Peul tirent en général de leur troupeau une partie importante de leur alimentation et de leurs revenus ; ils peuvent donc tolérer un bilan céréalier très déficitaire. Les rendements de leurs cultures, en revanche, peuvent être assez élevés compte tenu de l'importance des dépôts de déjections animales.

Ce type de pratiques se rencontre notamment au nord de la Côte-d'Ivoire (LANDAIS, 1983 ; BERNARDET, 1984), mais c'est aussi la base du système agropastoral des Peul de l'Adamaoua au Cameroun. Dans ces différentes situations, la pérennité du système n'est assurée que grâce à un disponible de parcours assez important. La pression croissante sur la terre en zone soudanienne condamne, sans doute, à moyen terme, le maintien de ces systèmes équilibrés mais consommateurs d'espace et relativement peu productifs.

Au plan agronomique, cette technique ne diffère pas fondamentalement de la précédente. Néanmoins, la méthode de contention diffère : les animaux sont en liberté dans l'enceinte du parc, ce qui accroît fortement le piétinement et facilite peut-être l'incorporation au sol des matières fertilisantes.

Les parcs de nuit fixes

Les parcs de nuit fixes des troupeaux villageois sédentaires sont fréquents chez les agriculteurs qui possèdent un cheptel bovin regroupé en troupeaux collectifs. Ce système pose le problème du transport des déjections accumulées dans le parc vers les parcelles. Dans la majorité des cas, il y a un gaspillage important de fumure et le plus souvent les épandages sont limités à de petites parcelles ou des jardins proches du parc.

L'organisation sociale collective de ces troupeaux ne facilite sans doute pas non plus l'utilisation de la terre ou poudrette de parc (LANDAIS, 1983). Dans certains villages (Basse-Casamance), celle-ci est répartie entre les familles qui possèdent les bovins et transportée par les femmes sur les rizières. Les marges d'amélioration sont importantes, à condition de disposer de moyens de transport. La charrette à traction animale est tout à fait indiquée, voire indispensable pour améliorer l'utilisation de la fumure organique dans ces systèmes sédentaires (SCHLEICH, 1986).

Les pratiques améliorées

Les formes de fumure organique élaborées sont le compost et le fumier ; nous ne traiterons pas ici du compost végétal mais des méthodes améliorées qui permettent de fabriquer un fumier correct. Nous décrirons trois techniques :

- les «parcs améliorés» vulgarisés par la CMDT du Mali-Sud, qui sont des parcs de nuit où l'on apporte de la litière ;
- la technique des «parcs d'hivernage», mise au point par l'INERA au Burkina Faso ;
- les étables et fosses fumières, qui permettent de fabriquer un véri-

table fumier au sein de l'exploitation agricole, avec les animaux intégrés à cette exploitation. Elles sont en particulier vulgarisées aujourd'hui par la Sodefitex au Sénégal oriental et en Haute-Casamance.

Les parcs améliorés (CMDT, Mali-Sud)

La technique est simple. Elle consiste essentiellement à apporter dans les parcs de nuit des animaux un maximum de matière végétale d'origine et de qualité variables : pailles, résidus de récolte, déchets de battage, etc. Les fourrages grossiers distribués au parc participent, par la forte proportion des refus, à cet apport de matière végétale destiné à la fabrication du fumier. Des résidus grossiers, même fortement lignifiés, peuvent entrer dans cette fabrication. La CMDT affirme ainsi que des cotonniers après récolte du coton (résidus estimés à environ 1 t/ha de MS) peuvent être incorporés au fumier dans ces parcs ; le piétinement des animaux et les fermentations qui se produisent dans la litière suffiraient à faire évoluer ces matériaux très fibreux.

Cette technique a pu s'implanter au Mali-Sud pour deux raisons principales :

- les troupeaux bovins sont de plus en plus souvent gérés à l'échelon familial, ce qui facilite grandement ce type d'amélioration ;
- l'équipement en traction animale et en particulier en charrettes de la région du Mali-Sud est particulièrement important ; c'est la condition indispensable à la réussite de cette technique dans laquelle les transports de matière sont importants.

Une évaluation sommaire des quantités à transporter est présentée au tableau VI pour une exploitation de 10 ha.

Tableau VI Evaluation pondérale des flux annuels de résidus agricoles et de fumier dans une exploitation de 10 ha traitant 4 ha de céréales et fertilisant 2 ha chaque année.

	Par ha récolté (litière)	Total pour l'exploitation	Par ha fertilisé
MS résidus transportés (t)	3	4 x 3 = 12	
MS résiduelle (t)	2 *	4 x 2 = 8	
MS fèces (t)	1 **	4 x 1 = 4 (soit 8 UBT à mi-temps)	
MS fumier (t)	3	12	6
Fumier brut à 50 % MS (t)	6	24	12

* La phytomasse des résidus est en partie consommée par les animaux au parc de nuit (hypothèse : un tiers consommé, deux tiers incorporés au fumier).

** Cette quantité de dépôts de fèces correspond à environ 2 UBT par an en supposant que l'on récupère, au parc de nuit, environ 50 % de l'excrétion fécale.

Les quantités à transporter pour cette exploitation seraient les suivantes :

- des parcelles au parc de nuit proche du village : 12 t de résidus de céréales, volumineux ;

- du parc de nuit aux parcelles de culture : 24 t de fumier brut pour fertiliser 2 ha à raison de 6 t/ha de MS (c'est une hypothèse faite par différents agronomes, notamment BERGER *et al.*, 1987).

Les parcs d'hivernage du Burkina Faso (BERGER et al., 1987)

La technique proposée par les chercheurs de l'INERA au Burkina Faso consiste à implanter directement sur la parcelle de sorgho le parc clôturé destiné à la fabrication du fumier de manière à limiter les transports de paille. Le fumier fabriqué est ensuite épandu sur cette même parcelle dans le cadre d'une rotation triennale illustrée au tableau VII et à la figure 11.

Tableau VII Itinéraire technique de fertilisation proposé par l'INERA (Burkina Faso).

		Culture pratiquée	Itinéraire technique «fumier»
Année 1	SP SS	Sorgho	Parcage des animaux sur résidus de sorgho
Année 2	SP	Coton	Humidification par les pluies du fumier sur le parc
Année 3	SP (début) SP (suite)	Maïs	Epandage et enfouissement du fumier avant semis

On note dans ce système un décalage d'une année entre la fabrication du fumier à partir des résidus de la culture du sorgho de l'année 1 et son utilisation sur la culture du maïs de l'année 3. Pendant l'année 2 (culture du cotonnier), le fumier est humecté sur place par les pluies.

Les quantités citées par BERGER *et al.* sont les suivantes : 4 t/ha de résidus de sorgho utilisées comme litière au cours de la saison sèche à raison de 5 kg par bovin et par nuit permettent après 800 nuitées (soit par exemple 8 bovins pendant 100 nuits) de fabriquer 6 t de fumier. Cette quantité de fumier permet de fertiliser la parcelle tous les 3 ans.

La figure 11 compare quelques aspects des deux systèmes décrits ci-dessus pour la CMDT et l'INERA à partir de l'exemple d'un exploitant agricole souhaitant fertiliser 2 ha par an.

Le système CMDT Mali-Sud peut fonctionner avec une dizaine de bovins sur l'exploitation (environ 8 UBT) qui utilisent toute l'année le parc de nuit ; le système INERA est plutôt adapté à des troupeaux de plus grande taille. Selon les normes proposées par BERGER *et al.*, ce sont

par exemple 16 bovins pendant 100 nuits ou 32 bovins pendant 50 nuits qui permettent de fabriquer la quantité requise de fumier.

L'intérêt du principe proposé par l'INERA est que l'on retrouve une logique de complémentarité entre éleveurs et agriculteurs qui s'inspire des contrats de fumure traditionnels, lesquels seraient, d'après nos enquêtes, en voie de disparition dans la zone cotonnière (LHOSTE, 1987).

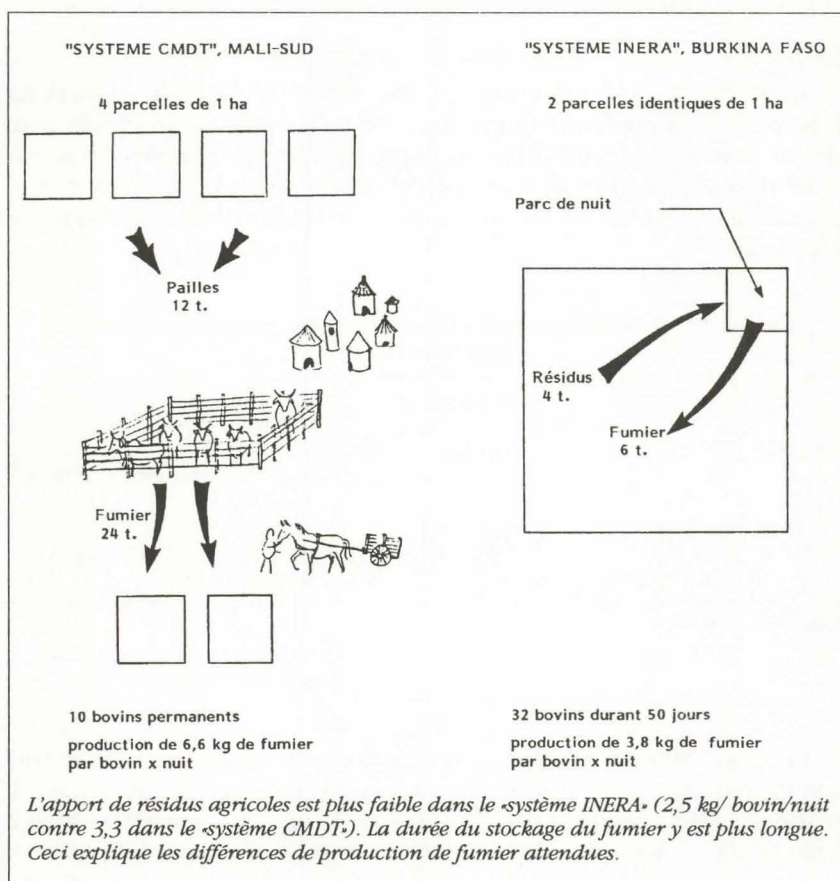


Figure 11 Comparaison des systèmes de fumure animale préconisés par la CMDT et par l'INERA sur la base d'une exploitation de 10 ha fertilisant 2 ha par an.

La fabrication d'un vrai «fumier de ferme»

Pour les animaux intégrés à l'exploitation agricole, c'est-à-dire ceux dont le séjour nocturne est assuré dans les dépendances de la concession, il est possible de proposer des techniques de fabrication de fumier plus efficaces ; elles présentent aussi, nous le verrons, d'importantes contraintes.

Des travaux conséquents ont été conduits, depuis plusieurs décennies, dans les stations expérimentales telles que le Centre de recherches agronomiques de Bambey, au Sénégal (HAMON, 1972) ou le Centre de recherches zootechniques de Sotuba, au Mali (BOUDET, 1961) ; ils ont permis de préciser les itinéraires techniques les plus efficaces.

A Sotuba, BOUDET (1961) préconise une stabulation libre de 20 m² (5 x 4 m) pour quatre bovins N'Dama afin de produire du fumier de ferme, en saison sèche, à partir de pailles de brousse (*Andropogon pseudapricus*, produisant 3,5 t/ha sur des parcelles «débroussées»). Une tonne de paille permet de produire 2,5 t de fumier, après arrosage (il s'agit de fumier vraisemblablement proche de 45-50 % de MS). L'auteur insiste sur la nécessité d'arroser le fumier en saison sèche et de le protéger de l'évaporation. Dans le sud de la Côte-d'Ivoire, des essais de fabrication de fumier ont été conduits en utilisant *Panicum maximum* comme source de phytomasse ; si la pluviométrie est élevée, ou même pendant la saison des pluies en zone soudanienne, il faut éviter le lessivage excessif du fumier et placer le parc en position favorable («kraal à litière surélevée», BOUDET, 1961), pour éviter l'excès l'humidité.

A Bambey (HAMON, 1972), l'équipe de recherche a travaillé sur l'adaptation d'étables fumières qui n'ont pas eu un très grand impact en milieu rural. Les travaux de ce centre ont, en revanche, précisé les normes de fabrication et d'utilisation agronomique du fumier. L'UBT est susceptible de produire 5 t de fumier par an (à 45 % de MS) dans des conditions optimales de récupération des fèces et urines. Ces 5 t de fumier correspondent aux potentialités productives de l'UBT avec un apport d'environ 1 t de MS fécale incorporée dans les 2 250 kg de MS du fumier. Ces normes sont à adapter aux situations paysannes, avec des temps de séjour des animaux parfois différents.

Des dispositifs variés d'étables fumières ont donc été proposés par la recherche et le développement. L'étable fumière à deux compartiments et la fosse fumière peuvent être citées comme des dispositifs intéressants en milieu paysan. La fosse fumière permet essentiellement de concentrer dans un volume limité les fèces et les urines mélangées à la litière ; un tel dispositif est bien adapté à la stabulation de bœufs de trait par exemple. L'étable fumière à deux compartiments est une adaptation du dispositif précédent consistant à utiliser alternativement deux blocs identiques : l'un sert à héberger les animaux et fabriquer le fumier pendant que l'autre est en cours d'évacuation sur les parcelles ; ce système semble mieux adapté aux situations à forte pluviosité et à plusieurs cycles de culture, au Rwanda par exemple, où il a été testé.

Les contraintes du schéma canonique sont donc fortes : installations avec couverture et possibilité d'arrosage ; apports importants de matière végétale, tassement, drainage, ombrage... L'important est donc de s'adapter aux situations locales en mettant un maximum de sécurité dans un schéma technique acceptable par les producteurs. La fosse fumière est, à ce titre, très intéressante car elle favorise le tassement et

le maintien de l'humidité. Divers projets de développement ont abordé ce thème avec plus ou moins de succès, notamment la Sodefitex au Sénégal oriental.

La technique de l'étable fumièrè, comme celle de la fosse fumièrè, ne doit pas être abordée isolément ; elle s'inscrit de toute évidence dans un schéma d'intensification du système de production dans ses aspects production animale et production végétale. Les animaux les plus indiqués pour entrer dans ces dispositifs sont donc les animaux intégrés à l'exploitation agricole et plus particulièrement les bœufs de trait, les animaux d'embouche et les vaches laitières, qui bénéficieront d'un affouragement éventuel et des compléments alimentaires à l'étable. Il est cependant souhaitable que les autres herbivores «intégrés» (petits ruminants, chevaux et ânes) participent à la fabrication de ce fumier de ferme (LHOSTE, 1986). L'investissement financier et en main-d'œuvre doit être justifié non seulement par l'amélioration agronomique résultant de la production du fumier mais aussi par l'amélioration des productions animales (lait par exemple). Cette technique s'inscrit dans un schéma d'intensification globale de la production végétale qui suppose, le plus souvent en zone de savane, la traction animale, non seulement pour le transport du fumier mais aussi pour son incorporation au sol (labour).

La diversité qualitative des produits utilisés pour la fumure organique animale

Les produits utilisés pour la fertilisation organique provenant des animaux sont à la fois très divers et souvent mal définis ; une grande imprécision règne dans la terminologie utilisée – fumier, terre de parc, poudrette, compost, etc. – et parfois dans les conditions de prélèvement et d'utilisation de ces produits.

Les tableaux VIII et IX reproduisent divers résultats d'analyses de bouses et fumiers de ferme (HAMON, cité par COULOMB *et al.*, 1980), ainsi que de poudrettes (GUILLONNEAU, 1988).

Le tableau X présente des analyses de fèces prélevées à l'état sec en saison sèche sur le sol, au Burkina Faso, réalisées par QUILFEN et MILLEVILLE (1983).

Ces quelques données confirment la forte variabilité de la composition minérale de ces différents produits. Les dépôts frais de fèces ont apparemment une richesse plus grande en éléments minéraux que les dépôts anciens, en raison notamment de l'action des termites. Les différences entre les espèces d'herbivores sont également à prendre en compte comme le montre la figure 7 qui révèle, en outre, de fortes variations saisonnières.

Ces résultats (GUERIN, 1987) confirment les analyses de QUILFEN et MILLEVILLE, avec un taux de matière azotée plus élevé dans les fèces des petits ruminants que dans celles des bovins. Ce taux est surtout très affecté par le régime alimentaire, qui varie avec la saison (variations du simple au double selon les saisons).

Tableau VIII Compositions du fumier en éléments minéraux (en % de la MS).

	1	2	3	4	5	6	7
Humidité (%)	—	—	—	21,1	57,4	66,2	37,4
N	2,47	1,44	0,89	1,50	1,45	1,28	0,72
P ₂ O ₅	0,51	0,80	0,30	0,50	0,45	0,40	0,29
K ₂ O	4,26	0,70	0,30	2,48	2,02	1,19	0,85
CaO	1,00	1,37 *	1 73 *	1,43	1,29	0,87	0,62
MgO	0,67			1,22	0,36	0,58	0,46
Na	0,25						
Cendres	37,90	10,80	49,60	15,90	54,00	60,30	86,80
Cendres insolubles	18,50	5,40	45,70	7,40	47,30	55,40	82,50

Source : COULOMB et al., 1980.

* meq.

1 - Fumier de ferme fabriqué à la station de Saria (Burkina Faso).

2 - Bouses fraîches (Sénégal).

3 - Bouses séchées et termitées (Sénégal).

4 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey : couche supérieure.

5 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey : couche moyenne supérieure.

6 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey : couche moyenne inférieure.

7 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey : couche inférieure.

Tableau IX Composition minérale de la terre de parc.

	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Ca
Terre de parc sans paille (Mali)	1,30	1,50	2,46	—
Déjections termites après 45 j (Sénégal)	0,89	0,68	0,36	73 meq
Terre de parc (Burkina Faso)	1,28	0,57	0,67	—
Terre de parc (Côte-d'Ivoire)	1,5	0,59	1,08	0,5 %
Terre de parc (Côte-d'Ivoire)	2,23	0,82	3,71	—
Bouses fraîches (Sénégal)	1,44	1,82	0,84	Ca + Mg : 1,37 meq

Source : GUILLONNEAU, 1988.

Tableau X Composition minérale de fèces desséchées.

	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Fèces bovins	1,28	0,25	0,56
Fèces petits ruminants	2,20	0,27	0,88

Les fèces, produit d'origine biologique, présentent une variabilité assez grande qui s'explique par différentes sources de variation contrôlables : espèce, saison, régime alimentaire... Des produits modifiés et transformés tels que les poudrettes ou terres de parc ou les fumiers intègrent en outre de nombreux facteurs de variation :

- pour le fumier : importance des éléments végétaux, humidification et tassement (qui jouent sur les fermentations), etc. ;
- pour les poudrettes : nature du terrain, saison, lessivage, durée de parage, etc.

De plus, pour ce type de produits, de sérieux problèmes d'échantillonnage se posent. Les analyses effectuées à Bambey par HAMON (tabl. VIII) illustrent l'influence du niveau de prélèvement du fumier sur sa composition minérale : les couches supérieures sont plus riches en éléments fertilisants (N, P, K, Ca, Mg) et en matière organique, alors que la couche inférieure souillée par la terre est très riche en silice (cendres insolubles).

En conditions de parage tournant, les déjections sont déposées directement sur les parcelles et d'autant plus remaniées et modifiées que le temps écoulé est plus long. GANRY (1985) produit des analyses qui confirment non seulement le dessèchement des fèces mais aussi leur appauvrissement minéral et organique sur le sol. Les quantités d'éléments fertilisants prélevées par les termites ne sont sans doute pas totalement perdues sur le plan agronomique ; macrofaune (vers, termites et insectes) et mésofaune (acariens, collemboles, etc.) consomment de la matière organique et la transforment, participant ainsi au processus d'humification (PIERI, 1989). Elles participent aussi à l'amélioration structurale du sol et augmentent, grâce à leurs galeries, la vitesse d'infiltration de l'eau.

Le fumier apparaît comme la forme privilégiée de fumure organique, attestée par les essais agronomiques. GANRY (1985) rappelle ainsi les résultats moyens établis au centre de Bambey en termes d'apports fertilisants du fumier : 5 t de fumier frais (45 % MS) * à base de paille, comprenant environ 25 % de terre humifère, restituent environ 30 kg d'azote, 10 kg de P_2O_5 , 35 kg de K_2O , 15 kg de MgO, 20 kg de CaO.

En conditions de parage également, les apports fertilisants peuvent être considérables et déterminants pour le rendement des cultures, comme le confirment les producteurs eux-mêmes (LHOSTE, 1986 ; SONKO, 1986). Dans le nord du Burkina Faso, QUILFEN et MILLEVILLE (1983) indiquent que, selon les parcelles parquées, les quantités déposées peuvent varier de 1,2 à 9 t de MS. Les apports de phosphore sont modérés (4 à 22 unités de P_2O_5 par ha) mais ceux d'azote (19 à 115 unités N) et de potasse (8 à 50 unités de K_2O par ha) sont loin d'être négligeables.

* Rappelons qu'il s'agit de la potentialité de production de l'UBT en conditions optimisées.

Les effets agronomiques de la fumure animale

Nous ne développerons pas abondamment ce thème qui a fait l'objet d'un certain nombre d'expérimentations tant en milieu contrôlé que chez des producteurs, dans le cadre des projets de développement ou d'opérations de recherche-développement. PIERI (1989) en propose une synthèse très complète dans son ouvrage.

L'intérêt de l'apport d'une matière organique évoluée et à rapport C/N relativement bas (compost ou fumier) n'est plus à démontrer. Les apports de pailles (à rapport C/N élevé) peuvent ainsi exercer sur les cultures des effets dépressifs, décrits par PIERI (1989). Outre les apports fertilisants, le fumier joue, par sa matière organique, un rôle important sur la structure du sol, sur sa capacité de rétention de l'eau, sur sa stabilité... Le rôle anti-érosif de l'utilisation de la fumure animale est probablement important, et mériterait des investigations complémentaires.

Les essais conduits en matière d'amélioration du rendement des cultures sont souvent difficiles à interpréter, compte tenu des divers facteurs en jeu tels que les fertilisations minérales associées ; de plus, les autres facteurs de l'itinéraire technique ne sont pas toujours comparables.

Nous rappellerons toutefois, parmi d'autres, les résultats des essais menés au nord de la Côte-d'Ivoire par BERTAUDIERE *et al.* (1984), sur une culture de maïs, en année climatique défavorable (tabl. XI).

Tableau XI Comparaison de l'effet de deux itinéraires de fertilisation sur une culture de maïs dans le nord de la Côte-d'Ivoire.

	Témoin	Poudrette	Parcage
Grains poids sec (kg) (gain relatif/témoin)	655	1 390 (+ 112 %)	1 564 (+ 138 %)
Chaumes poids sec (kg) (gain relatif/témoin)	1 092	1 695 (55 %)	2 334 (+ 114 %)
Total (gain relatif/témoin)	1 747	3 085 (+ 77 %)	3 898 (+ 123 %)

Source : BERTAUDIERE *et al.*, 1984.

La cellule recherche-développement de la Sodefitex a, au Sénégal oriental, testé l'utilisation du fumier produit en étable fumièrre sur la culture du maïs, avec des apports de 2 t ou de 4 t à l'hectare. Les surplus de rendements sont schématiquement les suivants : de 0 à 560 kg avec 2 t/ha de fumier et de 0 à 1 060 kg avec 4 t/ha de fumier.

Ces résultats agronomiques sont supérieurs à la plupart de ceux qui sont cités dans la littérature : en moyenne de l'ordre de 100 kg de céréales par tonne de fumier à l'hectare.

Dans certaines régions du Mali-Sud et du Burkina Faso, l'utilisation de la fumure animale est actuellement en forte progression. Nous présentons à la figure 12 des résultats qui nous ont été communiqués par

le projet de développement intégré du Zoundwéogo (Manga) au Burkina Faso. Ces résultats traduisent une progression rapide des thèmes étable et fosse fumièrre dans cette région sur une période courte (1984-1989). L'amélioration des rendements obtenus sur différentes cultures (coton, mil, sorghos blanc et rouge, maïs) est très significative. Certes, les conditions expérimentales ne sont pas clairement définies, et l'effet fumier n'est sans doute pas seul en cause, mais ces résultats traduisent probablement l'effet global de l'intensification agricole, dans le cadre de l'association de l'agriculture et de l'élevage.

Une contrainte importante en matière de fertilisation avec la fumure animale est liée au nombre d'animaux qui seraient nécessaires pour assurer des apports substantiels sur les champs cultivés des zones denses ; nous reviendrons sur ces équilibres en troisième partie.

SCHLEICH (1986) s'est intéressé de façon très pratique, dans le nord de la Côte-d'Ivoire, aux conditions d'utilisation de la fumure animale et aux contraintes de travail. Il établit les ratios suivants selon les techniques : l'utilisation de la poudrette nécessite 25 UBT par ha à fertiliser, le parc tournant (système Peul) 18 UBT, les bœufs de trait intégrés 3 à 5 bœufs.

Les observations de SCHLEICH, présentées au tableau XII, montrent clairement l'avantage du transport attelé sur la séquence : chargement, transport et épandage ; au-delà d'une certaine distance, le transport à pied devient absolument prohibitif : près de 200 jours sont nécessaires pour une parcelle distante de 3 km, contre 23 jours avec une charrette à bœufs.

Tableau XII Temps de transport du fumier (en jours) sur une surface de 1 ha en fonction des moyens techniques et de l'éloignement du champ (quantité de fumier : 5 t/ha de MS).

Eloignement du champ (km)	Rotation du parc *	Moyens techniques	
		Transport de la poudrette	
		Charrette à bœufs **	A pied
0,5	13,0	14	37
1	—	16	68
2	—	19	120
3	—	23	194

* Type traditionnel de parc.

** Temps de travail nécessaire pour charger et décharger, transporter et épandre le fumier.

L'emploi du fumier occasionne un surcroît de travail qui doit être compensé par l'augmentation des rendements. SCHLEICH (1986) présente une intéressante illustration de ce débat en comparant rotation du parc et emploi du fumier avec ou sans traction animale dans deux situations différentes : terres disponibles ou pénurie de terres cultivables (fig. 13).

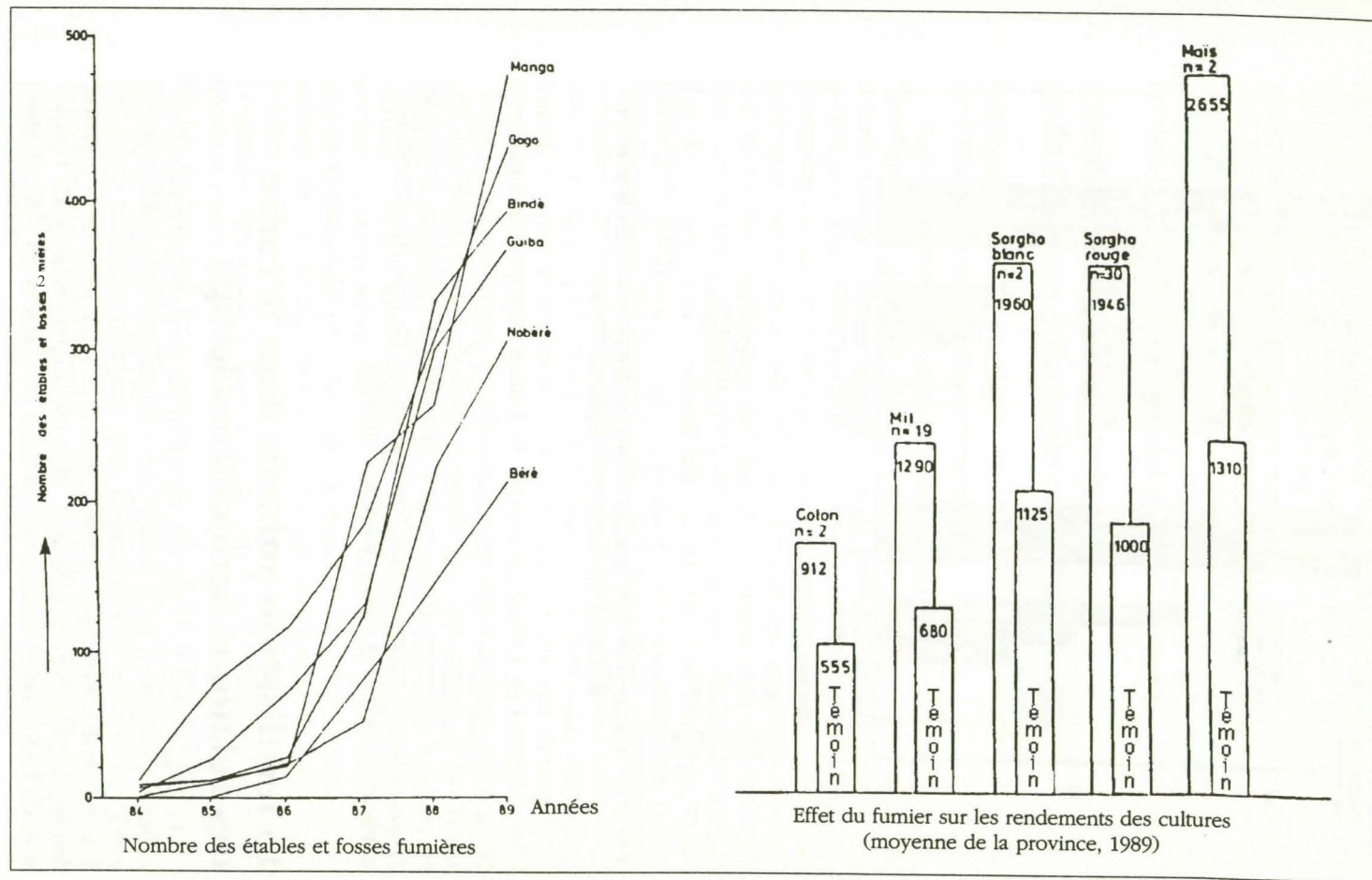


Figure 12 Evolution du nombre d'étables et fosses fumières dans le ressort du Projet de développement intégré du Zoundweogo (Manga, Burkina Faso).

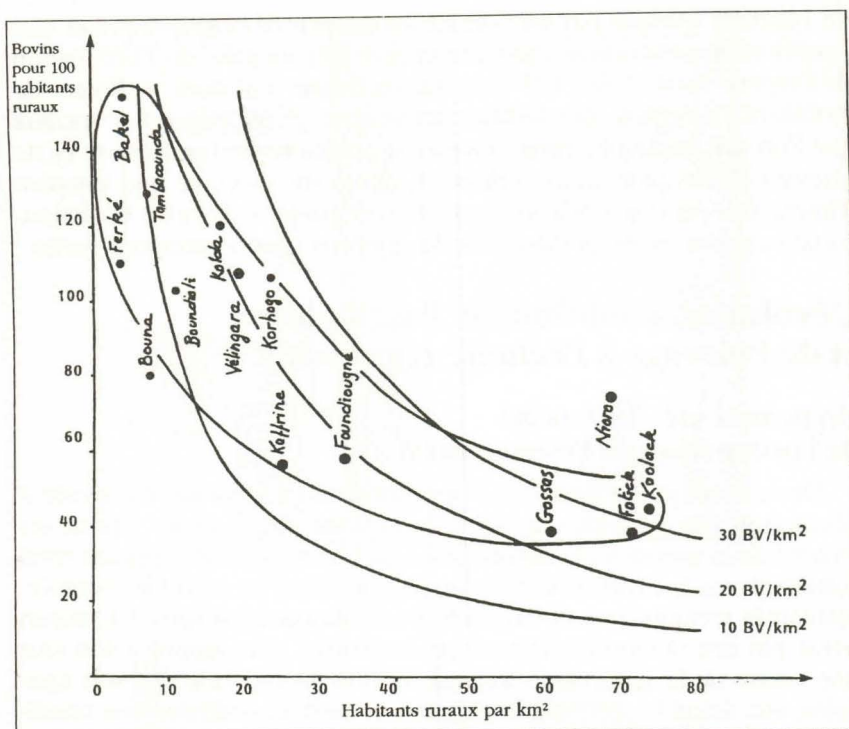


Figure 14 Evolution du nombre de bovins possédés en fonction de la densité de la population rurale en région de savanes (Sénégal et Côte-d'Ivoire).

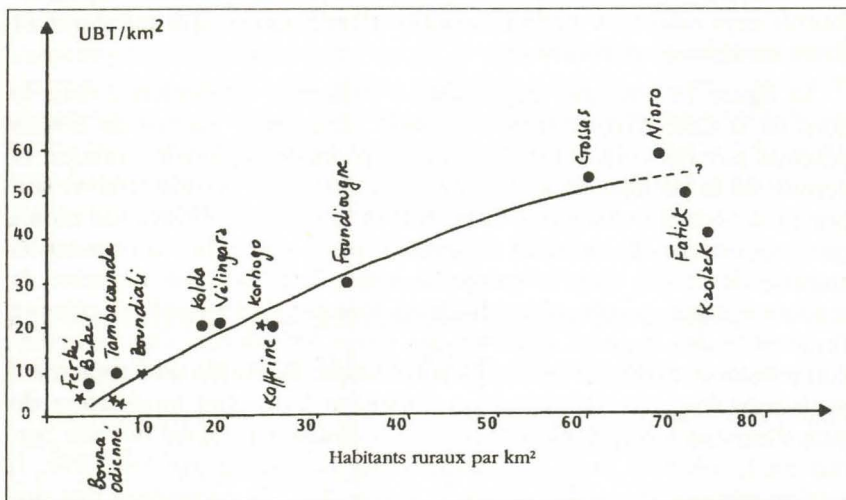


Figure 15 Densités de la population rurale et du peuplement animal en diverses régions de savanes soudaniennes ou sahélo-soudaniennes du Sénégal et de la Côte-d'Ivoire.

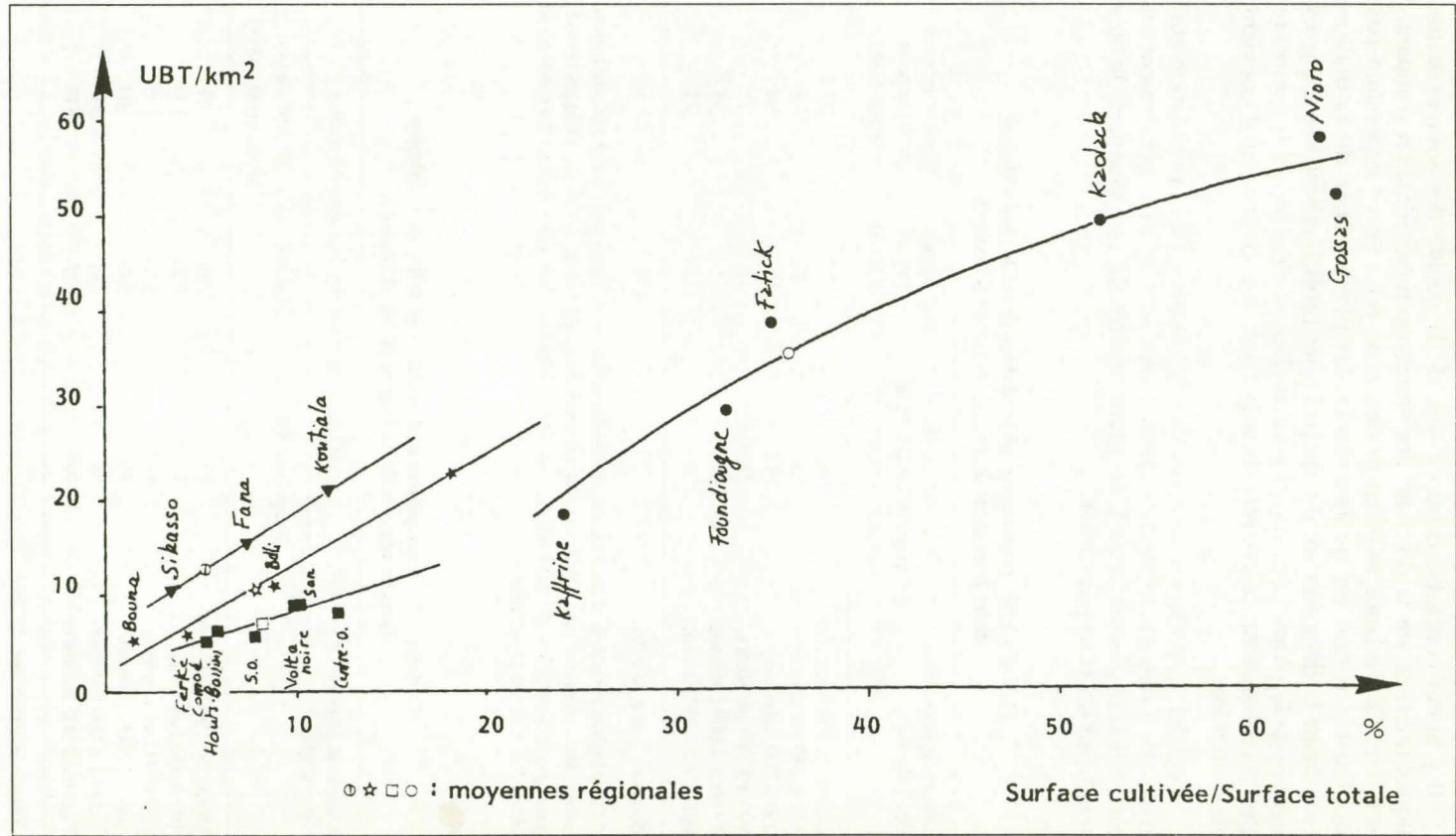


Figure 16 Occupation agricole des sols et densité du peuplement animal dans diverses régions de savanes soudano-sahéliennes (Sénégal, Côte-d'Ivoire, Mali, Burkina Faso).

Il y aurait certes beaucoup à dire de la qualité des sources statistiques utilisées, de la diversité des situations mises ainsi en comparaison, etc. La tendance mise en évidence ne nous paraît cependant pas douteuse : si tant est qu'ils existent, les phénomènes de saturation entraînant la décroissance du cheptel sont probablement très éloignés encore de la plupart des situations actuelles, et c'est bien à la poursuite de l'accroissement du cheptel dans la zone des savanes qu'il convient de s'attendre.

Ceci étant, quelques rares cas de décroissance de la population animale dans des situations très denses semblent avérés, notamment au Siné-Saloum (LHOSTE, 1986). Le grand intérêt de ces situations limites mériterait un suivi particulier.

Tableau XIII Troupeaux sédentaires et taille des villages dans la région de la Bagoe (Côte-d'Ivoire).

Classe de population des villages	Importance de la population (% de la population totale)	Importance du cheptel (% du total)	Nombre moyen de têtes pour 100 habitants
Moins de 100 habitants	1	1 *	27 *
100 à 250 habitants	13	7	75
250 à 500 habitants	19	15	56
500 à 1 000 habitants	27	22	47
1 000 à 2 000 habitants	21	23	36
Plus de 2 000 habitants	19	32	23

Source : STECK, 1979.

* Ces chiffres résultent d'une mauvaise estimation, le troupeau n'ayant pu être estimé dans deux tiers des cas. STECK signale cependant que plus de 60 % des villages renseignés possèdent plus de 100 têtes pour 100 habitants, ce qui s'inscrit parfaitement dans l'évolution constatée.

Tableau XIV Troupeaux sédentaires et taille des villages dans la région de la Bagoe (Côte-d'Ivoire).

Classe de population des villages	Villages détenant des bovins sédentaires		
	Fréquence (%)	Nombre	Effectif moyen du cheptel (têtes)
Moins de 100 habitants	59	285	77
100 à 250 habitants	55	356	134
250 à 500 habitants	69	583	135
500 à 1 000 habitants	73	249	303
1 000 à 2 000 habitants	88	121	348
Plus de 2 000 habitants	96	27	415

Source : CHATAIGNER, 1978.

Agriculteurs et pasteurs : le poids de l'histoire

L'étude des relations agriculture-élevage dans les zones sahélienne et sahélo-soudanienne nécessite classiquement une approche en deux temps : le premier est consacré à l'analyse des relations entre peuples pasteurs et sociétés paysannes ; le second à celle des relations entre agriculture et élevage au sein de chacun des systèmes ainsi distingués. Ni l'un ni l'autre, en effet, ne repose sur un choix exclusif en faveur d'une des deux activités, même si la hiérarchie des valeurs culturelles pourrait le laisser croire. L'équilibre oscille en fait, dans un système comme dans l'autre, au gré des circonstances. Cependant, les stratégies ne sont point symétriques : les pasteurs souhaitent souvent abandonner la culture dès que l'effectif du cheptel qu'ils détiennent le leur permet ; les agriculteurs s'efforcent à la fois d'accroître leur emprise foncière, affirmée par l'occupation agricole, et d'augmenter leur troupeau. L'histoire de leurs confrontations éclaire d'un jour singulier les mutations contemporaines.

La suprématie politique des pasteurs, appuyée sur leur organisation guerrière et renforcée par leur prosélytisme religieux, leur a permis de s'assurer, en bien des lieux, aux XVIII^e et XIX^e siècles, une maîtrise incontestée de l'espace pastoral. Contraints au repli, les paysans sahéliens s'entassèrent alors dans des zones-refuges dont la sécurité était assurée par la nature du terrain (pays Dogon, pays Kirdi) et/ou la forte densité du peuplement, propice à la défense. Ils y développèrent par nécessité des formes d'agriculture sous pluie remarquablement performantes puisqu'elles supportaient des densités rurales inhabituelles – de quelques dizaines à une centaine d'habitants au km², voire davantage – et autorisaient la culture permanente. Comment y parvinrent-ils ? Grâce à l'association systématique de l'élevage et d'une couverture arborée à l'espace cultivé. Du Cap-Vert au Tchad et au Soudan, l'arbre et le troupeau font alors partie d'un système de production intégré, dont la diffusion sur des milliers de kilomètres rejette l'image habituelle du divorce entre agriculture et élevage (PELISSIER, 1977).

Plus au sud, dans la zone soudanienne, le développement de l'élevage est directement conditionné par celui de l'agriculture : la plupart des formations naturelles n'ont de réelle vocation pastorale que dans la mesure où elles ont été remaniées par l'homme. L'éclaircissement de la végétation ligneuse autour des villages résulte principalement des défrichements agricoles qui permettent à la végétation herbacée de s'installer sur les jachères. Les feux, alimentés par les herbes desséchées, peuvent alors entretenir des formations ouvertes, en contenant le réenvahissement ligneux. Seules les formations savaniques de ces clairières villageoises s'avèrent propices à l'élevage, les forêts claires avoisinantes étant généralement infestées de glossines et offrant de maigres ressources fourragères. Le faible rayon d'action des troupeaux sédentaires concourt à inscrire l'aire pastorale au cœur de l'aire agricole villageoise. Au total, l'élevage apparaît comme une activité historiquement et géographiquement subordonnée à l'agriculture (LANDAIS, 1985).

Du Sahel à la zone soudanienne, la période 1925-1975 a été marquée par un ensemble de mutations profondes qui ont été décrites par de nombreux auteurs et magistralement résumées par PELISSIER (1977) :

- emprise croissante de l'agriculture sur l'espace, s'accompagnant d'une réduction du domaine pastoral et d'une dégradation générale de la situation des pasteurs, qui résulte à la fois de la disparition de leur ancienne suprématie politique, de leur moindre dynamisme démographique et de la dégradation continue des termes de l'échange au détriment des productions animales ;

- expansion spatiale des systèmes de culture résultant de l'avancée des territoires occupés par les agriculteurs, sous la triple influence de leur croissance démographique, du développement des cultures de rente et d'un retour à des techniques de production extensives, adaptées au projet d'une agriculture de reconquête des espaces jadis accaparés par les peuples pasteurs, qui s'accompagne d'une déstructuration des anciens terroirs densément peuplés et d'une dégradation généralisée des parcs arborés ;

- accroissement très vigoureux du cheptel, tant dans les systèmes pastoraux que dans les agrosystèmes villageois. Cet accroissement est permis par le contrôle des grandes épizooties et le recul progressif de l'infestation glossinaire ;

- multiplication des migrations tendant notamment, pour les agriculteurs, à harmoniser des densités d'occupation du sol très hétérogènes et pour les pasteurs à rechercher vers le sud de nouveaux espaces pastoraux ;

- métissage technique progressif entre des systèmes de production jadis très différents, et confirmation du rôle central dévolu dans toute la zone, en termes de développement, à l'association entre céréaliculture et élevage.

La nouvelle donne

Les épisodes de sécheresse qui ont successivement frappé l'Afrique sahélienne et soudanienne au cours des dernières décennies ont précipité les évolutions en cours. L'élevage, qui en a été profondément affecté, semble avoir aujourd'hui globalement reconstitué ses effectifs antérieurs mais «l'élevage n'est plus comme avant». Les éleveurs sahéliens ont vendu ou perdu une grande partie de leur cheptel et tentent actuellement de reconstituer leurs troupeaux bovins par l'intermédiaire des petits ruminants. Beaucoup ont pris le parti de migrer vers le sud, franchissant souvent les frontières de leur pays d'origine : le nord ivoirien abrite un cheptel «transhumant» de 330 000 têtes originaires du Mali et du Burkina Faso ; la RCA a accueilli les troupeaux tchadiens, le Nigeria et le Bénin ont sédentarisé les Peul nigériens (BLEIN, 1990). Des migrations de même nature se sont déroulées à l'intérieur des frontières du Sénégal, du Mali et d'autres pays. Elles se sont souvent accompagnées d'un changement de mains d'une partie du cheptel, ainsi que cela

a été décrit par exemple au Sénégal (LHOSTE, 1986) ou au Mali (PRADERE, 1990). Les éleveurs durent, en effet, pour subvenir à leurs besoins et faire face aux coûts divers d'une installation dans des zones nouvelles, se défaire d'une partie de leurs animaux, dans un contexte économique en général peu favorable. Au Mali-Sud, région particulièrement intéressante en raison de son dynamisme agricole actuel, le transfert de ces animaux des pasteurs aux paysans fut facilité par les disponibilités monétaires provenant du coton et par une demande soutenue en bœufs de trait et en animaux d'élevage, susceptible de valoriser des quantités croissantes de sous-produits agricoles. Un glissement de grande ampleur s'est ainsi opéré en faveur des zones méridionales : entre 1965 et 1988, le Sahel malien a perdu 80 % de ses bovins et près de la moitié de ses petits ruminants. Dans le même temps, dans la région de Sikasso, le nombre de bovins est passé de 350 000 à 1 240 000 têtes (fig. 17) et les effectifs des petits ruminants de 186 000 à 590 000 têtes (PRADERE, 1990). Les statistiques disponibles montrent, selon la même étude, que le taux de croissance des effectifs animaux durant la période récente a été très corrélé avec la productivité de l'agriculture. Ainsi, dans les régions de Sikasso et de Ségou, où l'élevage s'est beaucoup développé, le taux de couverture des besoins céréaliers de la population est-il respectivement de 140 et de 130 % en année normale. Des études récentes ont montré que l'élevage poursuit son expansion dans les zones agricoles les plus humides : le taux de croît net annuel du troupeau s'élève à 3,2 % à Sikasso et à 3,0 % à Koulikoro, tandis qu'il stagne dans la région de Mopti et poursuit son déclin dans celle de Gao (- 4 %).

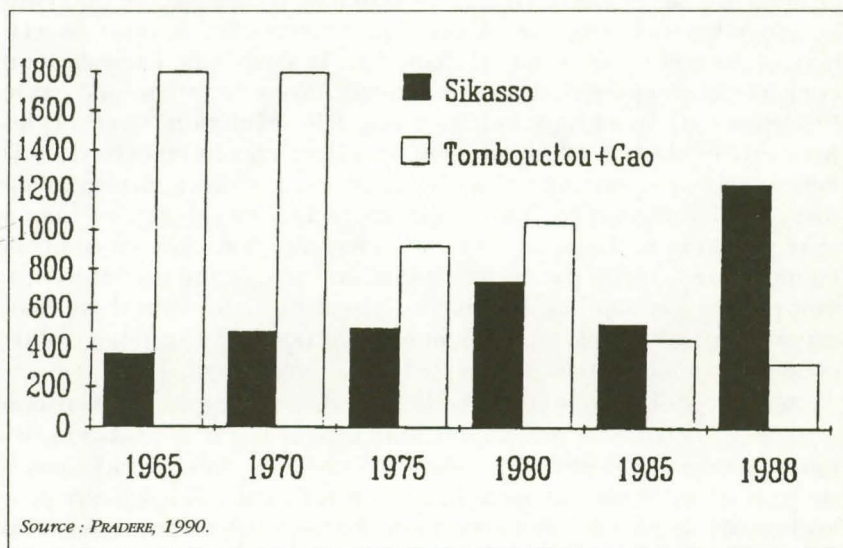


Figure 17 Redistribution de la population bovine au Mali. Effectifs dans les régions de Sikasso, Tombouctou et Gao (en milliers de têtes).

Souvent ruinés au nord, partiellement dépossédés au sud, beaucoup d'éleveurs sahéliens ont aujourd'hui adopté un mode de vie proche de celui des agriculteurs sédentaires... Le métissage technique et culturel annoncé par PELISSIER prend pour eux un goût amer, et il est permis de s'interroger aujourd'hui sur l'avenir des peuples pasteurs du Sahel.

D'un autre côté, de grands espoirs reposent sur une économie agropastorale à la fois nouvelle et profondément enracinée dans la culture des sociétés paysannes locales, qui semble en voie d'émerger dans les savanes de l'Afrique soudanienne et sahélo-soudanienne. De nombreux auteurs en voient les prémisses dans les multiples signes d'intensification qu'ils relèvent en diverses régions à travers l'utilisation des sous-produits agricoles, la fertilisation organique et la traction animale (par exemple, DUGUE, 1989). Pour beaucoup d'entre eux, le Mali-Sud représente le creuset de ces nouveaux systèmes de production.

Des motifs d'inquiétude.

Deux points méritent d'être soulignés au terme de cette analyse.

Le premier point concerne les perspectives d'évolution conjointe à moyen et long terme des densités de population humaine et animale : on s'achemine probablement vers des situations généralisées de coexistence de l'agriculture et de l'élevage dans des systèmes denses. D'ores et déjà, il apparaît que l'avenir de l'élevage dans les zones sahélienne et sahélo-soudanienne est très largement conditionné par la reproductibilité des systèmes agropastoraux denses, et beaucoup de spécialistes s'accordent à penser qu'il n'est pas d'autre façon d'envisager aussi l'avenir de l'agriculture de ces zones. Beaucoup d'espoirs reposent donc sur l'émergence de modèles viables de systèmes d'exploitation valorisant au mieux les complémentarités techniques potentielles de cette association, et donc sur une évolution allant dans le sens d'une intensification conjointe et progressive des deux activités. Nous avons vu qu'il existe localement de nombreux indices d'une telle évolution. Ceci dit, les perspectives de la fertilisation animale restent encore limitées dans la mesure où le rapport entre effectifs animaux et surfaces agricoles candidates à la fertilisation se situe généralement à un niveau très inférieur à celui qui serait souhaitable. A titre d'exemple, le nord ivoirien comptait en moyenne 1,2 UBT par hectare cultivé en 1985, ce qui est très insuffisant par rapport aux besoins qui ont été calculés plus haut. L'intensification fourragère constitue la seule réponse possible à ce déséquilibre, comme l'a montré l'histoire agricole de nombreux pays...

Second point, une inquiétude de fond demeure quant à la situation actuelle et l'évolution des populations ligneuses : la dégradation des parcs arborés consécutive à la remise en cause des modes traditionnels de gestion de l'espace agricole et à la surexploitation des ligneux pour les besoins de plus en plus importants des populations humaines (bois de feu, bois d'œuvre) et animales (pâturage aérien, clôtures) est susceptible à terme de compromettre l'association souhaitée de l'agriculture et de l'élevage. En particulier, les besoins de combustible de substitution

conduisent à l'utilisation à cette fin des résidus de récolte et même des déjections animales. Ces emplois viennent en concurrence directe avec ceux qui fondent l'association recherchée : valorisation des sous-produits de récolte en tant qu'aliments du bétail et fertilisation organique des terres de culture. La dégradation des sols consécutive à la disparition du couvert ligneux est encore plus préoccupante...

L'espace villageois

Si la densité de l'occupation de l'espace s'avère bien, comme le prévoyait Esther BOSERUP, un facteur-clé de l'évolution des systèmes de production agricole à l'échelle régionale, c'est à l'échelle des finages villageois que se nouent les relations entre l'agriculture et l'élevage et que s'organisent les flux de matière organique fertilisante. C'est donc à cette échelle que doivent être appréciées les situations concrètes, d'autant que les contrastes de peuplement sont extrêmement accentués dans les zones considérées, comme nous l'avons vu plus haut.

L'individuel et le collectif

D'une manière générale, l'organisation des flux de fertilité repose sur la valorisation de la complémentarité fonctionnelle entre la zone de culture et la zone de parcours des animaux. Le modèle concentrique de structuration des terroirs, classique en zone sahélo-soudanienne, en est un exemple très significatif puisque l'usage différencié des auréoles successives est en lui-même source de diversité. Les transferts de matière organique réalisés principalement par les animaux ont en effet à long terme des effets sensibles sur la fertilité des sols (fig. 18).

Le maintien de semblables systèmes suppose le respect collectif des fonctions assignées à la fois au troupeau et aux différentes zones de l'espace villageois. Il suppose aussi une organisation sociale permettant une redistribution régulière des terres entre familles et un accès bien partagé aux matières fertilisantes, qui représentent en réalité une ressource collective dont l'animal n'est en quelque sorte que le vecteur. Pour beaucoup de raisons, bien décrites par ailleurs, la montée actuelle d'un «individualisme agraire» de plus en plus affirmé (BELEM, 1985) ne permet pas de garantir partout un tel fonctionnement.

Le secteur agricole au sens strict, jadis géré par les chefs de lignage, devient de plus en plus individualisé, à la faveur de l'éclatement des anciennes structures familiales et de la multiplication de champs individuels. La tenure foncière s'apparente de plus en plus à une appropriation individuelle stable ; la mise en culture relève largement de décisions individuelles.

La situation est différente pour ce qui concerne l'élevage :

– la propriété du cheptel bovin, jadis lignagère (le chef de lignage n'étant que le gestionnaire du bien commun), reste largement entre les mains des chefs de famille, pour diverses raisons : d'une part, ceux-ci continuent d'exercer un contrôle fort sur les biens, même si leur

contrôle sur les personnes diminue ; d'autre part, par le jeu des confiages, ils gèrent en réalité un cheptel plus important que celui qui leur appartient. Le patrimoine animal, dont on connaît l'importance, reste donc concentré et le poids des stratégies individuelles est beaucoup moins important dans les systèmes de production animale que dans les systèmes de production végétale ;

– l'espace pâturé, ou plus exactement le droit de pâturage, n'est pas individualisé, qu'il s'agisse des parcours ou des terres agricoles après les récoltes. Si l'espace villageois relevait jadis, par exemple en pays Sereer, d'une véritable gestion collective, qui reposait sur des structures familiales et villageoises fortes, il n'en va plus de même aujourd'hui, et l'exploitation de l'espace apparaît de plus en plus anarchique. Cela est encore beaucoup plus net dans les terres de colonisation récente, où les parcours et les formations forestières deviennent souvent de véritables «aires de pillage», ce qui ne va pas sans de lourdes menaces pour l'environnement.

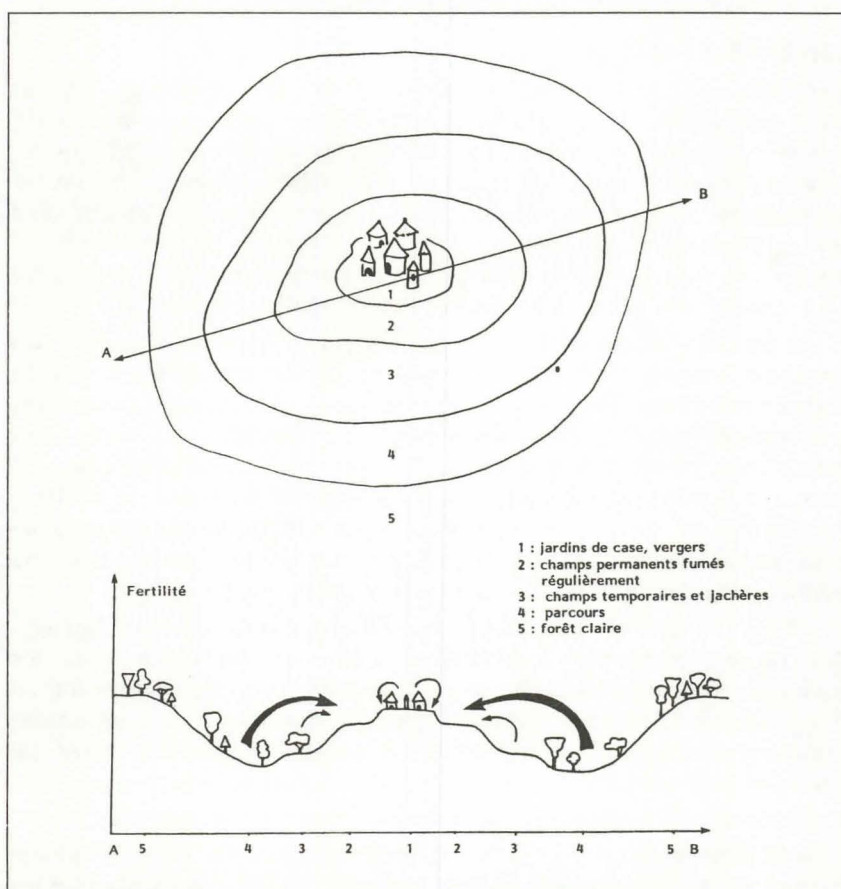


Figure 18 Schéma des transferts de fertilité opérés par le troupeau dans un terroir concentrique.

Il s'ensuit une sorte de décalage entre la gestion des champs (où s'exprime en particulier le dynamisme des jeunes agriculteurs) et celle, beaucoup plus conservatrice, des troupeaux, qui a des conséquences négatives en termes de développement (LANDAIS, 1985). Ceci est tout à fait net pour les troupeaux conduits sur le mode extensif traditionnel. Ceci s'estompe, en revanche, pour les animaux «intégrés» à l'exploitation (LHOSTE, 1986), en particulier les bovins de trait dont le statut est assimilé à celui d'auxiliaires de la culture et dont la propriété est individuelle. La gestion de ces animaux (affouragement et valorisation des déjections) peut donc être plus aisément harmonisée avec celle des systèmes de culture et l'on constate par exemple que la récupération de la fumure animale progresse de façon générale dans le secteur de l'élevage intégré (DUGUE, 1989), tandis qu'elle régresse au contraire dans beaucoup de parcs villageois communautaires (LANDAIS, 1983 ; SCHLEICH, 1986) ou dans nombre de systèmes collectifs de parcage.

D'une manière générale, la logique des systèmes reposant sur les transferts de matière organique d'un secteur exclusivement pâturé à un secteur cultivé, et donc sur la distinction fonctionnelle d'une aire pastorale gérée sur un mode extensif et d'une aire cultivée que l'on souhaite intensifier, porte en elle-même sa propre contradiction dans un contexte généralisé de croissance démographique et de densification de l'occupation de l'espace rural. La grande disponibilité foncière et l'organisation collective de la production que supposaient ces systèmes sont en effet progressivement remises en cause et la baisse de productivité de parcours surexploités réduit de plus en plus l'efficacité, déjà faible au départ, de ces systèmes. Dans bien des situations, l'aire agricole coïncide au contraire de plus en plus étroitement avec la surface fourragère.

La clôture, hier et demain

Les problèmes liés à la circulation des animaux et au pâturage dans des terroirs de plus en plus cultivés constituent donc des enjeux pour l'avenir et la clôture aura probablement un rôle essentiel à jouer dans l'évolution qui s'annonce. Il convient à ce sujet de souligner le fait qu'il ne s'agit pas en soi d'une innovation majeure dans cette partie d'Afrique. Bien au contraire, les systèmes traditionnels, qui associaient depuis longtemps, comme nous l'avons vu, élevage et agriculture, faisaient un large usage des clôtures, au point que PELISSIER proposait de retenir le mode d'utilisation des clôtures et des haies vives comme un critère de base pour les typologies de terroirs en zone sahélo-soudanienne (PELISSIER, 1977). Les paysages sénégalais actuels de Casamance ou du Diambour attestent encore cette observation. Mais les systèmes traditionnels d'enclosure n'étaient que les moyens d'une gestion collective de l'espace et déclinent avec elle. Dans de telles conditions, il est permis de penser que la meilleure voie consisterait à évaluer les techniques que maîtrisaient les paysans et, le cas échéant, à tenter de les réhabiliter, pour les utiliser autrement, dans un contexte nouveau. Les

haies d'euphorbes aussi résistantes à la sécheresse qu'à la dent du bétail qui continuent à quadriller les paysages de la région de Louga au Sénégal ne constitueraient-elles pas, par exemple, des outils de choix pour les programmes d'aménagement des terroirs que tous semblent s'accorder à juger indispensables ?

Les moteurs de l'évolution

Quels sont les facteurs qui déterminent les comportements individuels et sociaux des paysans et permettent d'expliquer les évolutions en cours, principalement pour ce qui concerne la dynamique des populations animales ? Nous en avons déjà souligné deux : l'accroissement démographique et les stratégies foncières qui accompagnent la redistribution du peuplement rural, la montée de l'individualisme agraire.

Mais les stratégies paysannes semblent également s'expliquer, dans bien des cas, par deux objectifs complémentaires : le souci de sécuriser les systèmes de production et la recherche d'une productivité accrue - ou d'une moindre pénibilité - du travail. Comment prendre en compte ces deux impératifs dans une réflexion centrée sur la fertilisation animale ?

La croissance du cheptel : sécurisation ou fragilisation des systèmes de production ?

L'animal occupe un statut économique à part au sein des facteurs de production. Principal support de la capitalisation, et seul bien durable dans les économies traditionnelles (parce qu'il se reproduit), il est aussi directement impliqué dans les processus techniques de production (de lait, de viande, de cuir, etc.), joue un rôle important dans la disponibilité en travail et entretient des rapports étroits avec la terre, qui supporte la végétation dont il tire sa subsistance. La production de matières fertilisantes remplit, dans l'ensemble des fonctions socio-économiques, un rôle plus ou moins important, mais exceptionnellement dominant.

Dans les systèmes agropastoraux, c'est la fonction de capitalisation qui domine. Dans les systèmes pastoraux, elle vient immédiatement après la fonction de production de lait (produit vivrier de base et source de trésorerie) et de viande (destinée à la vente). C'est dire que, dans tous les cas, la possession d'animaux est considérée comme une richesse, à laquelle sont attachés bien des avantages sociaux. Disposer de cette richesse représente le meilleur moyen d'accéder à une certaine sécurité économique et de garantir l'avenir. Telle est l'origine du comportement général des ruraux et de bien des citadins, qui cherchent systématiquement à accroître leur cheptel et surtout leur cheptel bovin. Ce comportement ne semble guère influencé ni par les disponibilités fourragères, ni par les performances zootechniques des animaux, en sorte que l'effectif des troupeaux dépend essentiellement, d'une part, du taux d'exploitation appliqué par les éleveurs, d'autre part des régulations « naturelles », qui déterminent les taux de reproduction et de mortalité du bétail.

Ce type de régulation a des conséquences catastrophiques à tous égards : surpâturage et dégradation des parcours, productivité très faible du troupeau, etc. Il est clair que la conjonction des stratégies individuelles tendant à sécuriser les systèmes de production conduit paradoxalement à fragiliser globalement les systèmes d'élevage extensifs, qu'il s'agisse de systèmes pastoraux ou de systèmes agropastoraux où le troupeau extensif est important.

En revanche, le développement d'un élevage intégré à l'exploitation ne semble pas soulever de semblables problèmes, puisque des processus de régulation différents interviennent, par l'intermédiaire des disponibilités en fourrage et en travail. Ce développement apparaît même nécessaire, dans une optique d'intensification, pour parvenir à un équilibre satisfaisant entre la production de matières fertilisantes et les besoins agronomiques. Dans ce contexte, l'accroissement progressif des effectifs animaux apparaît bien comme un facteur de sécurisation.

Comment limiter la propension des propriétaires d'animaux à accumuler du cheptel ? Beaucoup de moyens ont été étudiés. Le plus rationnel consiste sans doute à offrir aux paysans des formes alternatives d'épargne et de capitalisation, et à leur permettre d'accéder au crédit ; le bétail ne doit plus être «la banque du paysan», selon l'expression consacrée.

Une remarque de TIREL (1983) mérite d'être relevée ici : dans les agricultures des pays industrialisés, la reconstitution de la fertilité est l'une des nombreuses fonctions anciennement remplies par l'agriculture qui sont de plus en plus assumées par l'industrie, hors de l'exploitation (comme la production de semences, de concentrés pour l'alimentation animale, d'énergie, la lutte contre les adventices et les parasites, etc.). Or ces multiples délégations ont contribué à dégrader le revenu des exploitations et surtout à accroître leur dépendance vis-à-vis du marché, et par là à fragiliser beaucoup d'entre elles. Cette réflexion vaut pour l'agriculture africaine : la valorisation des ressources locales et la recherche de formes aussi autonomes que possible de gestion de la fertilité organique des sols apparaissent comme des priorités. Elles conditionnent la sécurisation des systèmes de production.

Fertilisation animale et travail humain

Nous avons dit, dans la partie consacrée aux systèmes de gestion de la fumure animale, que la disponibilité en travail était l'une des contraintes les plus importantes pour le développement des méthodes de gestion qui supposent le transport des matières fertilisantes et que la traction animale avait un rôle très important à jouer à ce niveau. SIGAUT (1989) attire cependant l'attention sur une difficulté possible : la conduite des attelages est une tâche très généralement réservée aux hommes, tandis que le transport, et notamment celui de la poudrette de parc, est réalisé par les femmes et les enfants. En conséquence, la masculinisation de cette tâche représente peut-être un préalable à la généralisation du transport attelé de la fumure organique, et une contrainte dont le poids reste à préciser...

Sur un autre plan, le développement et l'intensification de l'élevage intégré qui semblent souhaitables dans une perspective d'amélioration du rendement de la fertilisation animale entraîneront à n'en pas douter un surcroît de travail. Il faut cependant tempérer cette observation, puisqu'une grande part de ce travail se situera en dehors de la saison agricole. Malheureusement, on ne dispose pratiquement d'aucune donnée sur les calendriers de travail, les temps de travail et la productivité du travail en élevage dans les zones considérées. Tous ces points mériteraient d'être étudiés, afin de préciser les perspectives réelles d'amélioration.

Conclusion

Au terme de cet exposé, il est possible d'identifier deux domaines où les besoins de recherche semblent particulièrement aigus :

- l'étude approfondie des grands équilibres à l'échelle régionale (densités humaine et animale, occupation des sols, etc.), et de leur évolution ;
- la description fine des systèmes de gestion de la fumure animale et de leur efficacité agronomique, avec une attention particulière pour le facteur travail.

Les études réalisées à l'échelle régionale devraient permettre d'identifier des situations-types où pourraient être mis en place des observatoires agropastoraux pluridisciplinaires, qui font actuellement défaut.

Bibliographie

- AUDRU J., BOUDET G., CESAR J., 1987. Terroirs pastoraux et agropastoraux en zone tropicale : gestion, aménagements et intensification fourragère. Maisons-Alfort, IEMVT-CIRAD, 418 p. (Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 24).
- BELEM P.C., 1985. Coton et systèmes de production dans l'Ouest du Burkina Faso. Thèse 3^e cycle, Géographie, Univ. Paul Valéry, Montpellier, 322 p.
- BERGER M., BELEM P.C., DAKOUO D., HYEN V., 1987. Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Coton Fibr. trop.*, **42** (3) : 201-210.
- BERNARDET P., 1984. L'association agriculture-élevage en Afrique. Les Peul semi-transhumants de Côte-d'Ivoire. Paris, L'Harmattan, 235 p. (Coll. Alternatives paysannes).
- BERNSTEN R.M., FITZHUGH H.A., KNIPSCHER H.C., 1983. Livestock in farming systems research. Keynote address presented at the 3rd annual Farming Systems Symposium, Kansas State University, USA, October 31-November 2, 1983, 45 p.
- BERTAUDIERE L., GODET G., CESAR J., 1984. Efficacité de deux techniques de fertilisation animale en savane soudanaise. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **37** (3) : 355-360.
- BERTHET-BONDET J., 1983. Analyse du système d'élevage dans les collines préhimalayennes. Le cas de Salmé au Népal. Paris, Thèse docteur-ingénieur, INAPG/INRA, Paris, 353 p.
- BLEIN R., 1990. Produits animaux et stratégies alimentaires : l'élevage dans tous ses états. *Lettre Solagral*, **35** : 3-5.
- BOUDET G., 1961. Problèmes de l'association agriculture-élevage en zone soudanienne. Résultats expérimentaux des terres au Centre de Recherches Zootechniques de Sotuba-Bamako (République du Mali). *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **14**, (1) : 75-85.
- CHATAIGNER J., 1978. Les relations homme, troupeau, espace dans le nord de la Côte-d'Ivoire. *Cab. ivoir. Rech. écon. soc.* (Abidjan, CIRES), **19** : 9-22.
- COULOMB J., SERRES P., TACHER G., 1980. L'élevage en pays sahéliens. Paris, PUF, CILF, AGELOOP, 183 p.
- DAVIES E.B., HOGG D.E., HOPEWELL G.H., 1962. Extent of return of nutrient elements by dairy cattle ; possible leaching losses. *Int. Soil. Sci. Conf.*, **7** : 715-719.
- DIOP M., LIVINGSTON G.O., CAMPBELL D., 1985. Farming systems in areas of farmer-herder interaction in Africa : toward an appropriate model for investigation. Paper prepared for the conference on FSRE : Management and methodology, Kansas State University, USA, October 13-16 1985, 22 p.
- DSA-CIRAD, 1985. Relations agriculture-élevage. Actes du II^e séminaire du Département Systèmes Agraires du CIRAD (Montpellier, France, 10-13 septembre 1985). Montpellier, DSA-CIRAD, 337 p. (Documents systèmes agraires, n° 4).
- DUGUE P., 1989. La culture attelée en zone sahélo-soudanienne : solution viable pour le développement agricole ou utopie d'agronome ? Le cas du Yatenga au Burkina Faso. *Cab. Rech.-Dév.*, **21** : 45-59.
- GACHON L., RICOU G., GRUNER L., 1979. Fonctionnement de l'écosystème prairial pâturé. In : Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens (X^e journées du Grenier de Theix, 1-3 juin 1978). Versailles, INRA Publ., p. 9-20.
- GANRY F., 1985. Quelques réflexions pratiques sur la valorisation agricole des fumiers et composts. In : Atelier «La recherche agronomique pour le milieu paysan», Nianing, Sénégal, 5-11 mai 1985. Dakar, ISRA, p. 108-119.

- GOE M.R., 1983. Etat actuel des recherches sur la traction animale. *Revue mond. Zootech.*, **45** : 2-17
- GRET, 1979. Biomasse : comparaison des valorisations des sous-produits agricoles. Paris, GRET, 298 p.
- Groupe de recherches INRA sur les hauts pâturages dégradés des Monts Dore, 1979. Aspects biologiques et techniques de la remise en exploitation des hauts pâturages dégradés des Monts Dore. *In* : Utilisation par les ruminants des pâturages d'altitude et parcours méditerranéens (X^e journées du Grenier de Theix, 1-3 juin 1978). Versailles, INRA Publ., p. 57-136.
- GUERIN H., 1987. Alimentation des ruminants domestiques sur pâturages naturels sahéliens et sahélo-soudaniens : étude méthodologique dans la région du Ferlo au Sénégal. (Thèse docteur-ingénieur, ENSA, Montpellier). Maisons-Alfort, IEMVT, 211 p.
- GUERIN H., FRIOT D., MBAYE N., FALL S.T., RICHARD D., 1987. L'ingestion des fourrages des parcours naturels en zone sahélienne : mesures en stabulation et au pâturage. *Reprod. Nutr. Dév.*, **27** (1B) : 197-198.
- GUERIN H., RICHARD D., FRIOT D., MBAYE N., KONE A.R., 1988. Intérêt du dosage de la lignocellulose (ADF) et de différentes fractions azotées pour prévoir la valeur nutritive des fourrages naturels sahéliens. *Reprod. Nutr. Dév.*, **28** (1, suppl.) : 111-112.
- GUERIN H., SALL C., FRIOT D., AKHOPE B., NDOYE A., 1985. Ebauche d'une méthodologie pour le diagnostic de l'alimentation des ruminants domestiques dans un système agropastoral. Exemple de Thyssé-Kaymor et Sonkorong au Sénégal. *In* : DSA-CIRAD. Relations agriculture-élevage. Actes du II^e séminaire du Département Systèmes Agraires du CIRAD (Montpellier, France, 10-13 septembre 1985). Montpellier, DSA-CIRAD, p. 188-197 (Documents systèmes agraires, n° 4).
- GUILLONNEAU A., 1988. Les parcs de nuit et l'utilisation des déjections animales dans le nord de la Côte-d'Ivoire. Bouaké, IDESSA, 137 p.
- HAMON R., 1972. L'habitat des animaux et la production d'un fumier de qualité en zone tropicale. *Agron. trop.*, **27** (5), 592-607.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. (Ouvrage collectif dirigé par R. JARRIGE). Paris, INRA, 471 p.
- JUST R.E., CANDLER W., 1983. Production functions and rationality of mixed-cropping : the nigerian case. Berkeley, University of California (Department of Agricultural Economics), 25 p. (Working paper n° 247).
- LANÇON J., 1978. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets (1^{re} partie). *Fourrages*, **75** : 55-88.
- LANÇON J., 1978. Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets (2^e partie). *Fourrages*, **76** : 91-122.
- LANDAIS E., 1983. Analyse des systèmes d'élevage bovin sédentaire du nord de la Côte-d'Ivoire. (Thèse d'Etat, Univ. Paris-Sud). Maisons-Alfort, IEMVT-CIRAD, 758 p. (Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 8).
- LANDAIS E., 1985. Population, élevage bovin et agriculture : aspects de l'évolution récente de l'occupation et de la gestion de l'espace rural dans les systèmes agropastoraux du nord de la Côte-d'Ivoire. *In* : DSA-CIRAD. Relations agriculture-élevage. Actes du II^e séminaire du Département Systèmes Agraires du CIRAD (Montpellier, France, 10-13 septembre 1985). Montpellier, DSA-CIRAD, p. 49-58 (Documents systèmes agraires, n° 4).

LANDAIS E., 1985. Complémentarités économiques entre agriculture et élevage dans les agrosystèmes villageois du nord de la Côte-d'Ivoire. Formation des revenus, épargne et capitalisation. In : DSA-CIRAD. Relations agriculture-élevage. Actes du II^e séminaire du Département Systèmes Agraires du CIRAD (Montpellier, France, 10-13 septembre 1985). Montpellier, DSA-CIRAD, p. 64-68 (Documents systèmes agraires, n° 4).

LANDAIS E., LHOSTE P., 1990. Les relations agriculture-élevage en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain. *Cab. ORSTOM, Sér. Sci. hum.*, **26** (1-2) : 217-235 (numéro spécial sur les sociétés pastorales).

LANDAIS E., LHOSTE P. et MILLEVILLE P., 1987. Points de vue sur la zootechnie et les systèmes d'élevage tropicaux. *Cab. ORSTOM, Sér. Sci. hum.*, **23** (3-4) : 421-437 (numéro spécial sur les systèmes de production).

LEDGER H.P., SAYERS A.P., 1977. The utilization of dietary energy by steers during periods of restricted food intake and subsequent realimentation. 1. The effects of time on the maintenance requirements of steers held at constant live weights. *J. agric. Sci., Camb.*, **88** : 11-26.

LHOSTE P., 1986. L'association agriculture-élevage. Evolution du système agropastoral au Siné-Saloum (Sénégal). Maisons-Alfort, IEMVT-CIRAD, 314 p. (Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 21).

LHOSTE P., 1987. Elevage et relations agriculture-élevage en zone cotonnière. Situation et perspectives. Paris, Ministère de la Coopération, Montpellier, CIRAD-IEMVT, 77 p.

MCCOWN R.L., HAALAND G., HAAN C. de., 1979. The interaction between cultivation and livestock production in semi-arid Africa. *Agriculture in semi-arid environments*, **34** : 297-332.

McDOWELL R.E., HILDEBRAND P.E., 1980. Integrated crop and animal production : Making the most of ressources available to small farms in developing countries. A Bellagio conference, October 18-23 1978. New York, Rockefeller Foundation, 78 p.

MILLEVILLE P., 1986. Systèmes d'utilisation de la fumure animale en Afrique tropicale. In : LANDAIS E., FAYE J., éd. Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale. Actes de l'atelier ISRA de Mbour, Sénégal, 2-8 février 1986. Maisons-Alfort, IEMVT-CIRAD, p. 407-412 (Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 20)

MOLLET J.M., 1990. La fertilisation organique des sols de la zone des savanes (Synthèse bibliographique). Montpellier, IEMVT-CIRAD, ENSAM, 40 p.

MONNIER G., 1966. Les restitutions organiques et leur action sur le sol. *Bull. CETA* : 5-14.

MONNIER G., 1966. Les matières organiques du sol. Etat et évolution, rôles, utilisation agronomique. *Bull. CETA* : 15-19.

OSUJI P.O., 1974. The physiology of eating and the energy expenditures of the ruminant at pasture. *J. Range Mgmt*, **27** (6) : 437-443.

PRADERE J.P., 1990. La dernière transhumance malienne. *Lettre Solagral*, **35** : 15-17.

PELISSIER P., 1977. Compétition et intégration de l'agriculture et de l'élevage en Afrique sahélienne et soudano-sahélienne. In : Proceedings of international symposium on rainfed agriculture in semi-arid regions (17-22 april 1977). Riverside, University of California, p. 72-86.

- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD, 444 p.
- POWELL J.M., MOHAMED-SALEEM M.A., 1987. Nitrogen and phosphorus transfers in a crop-livestock system in West-Africa. *Agric. Syst.*, **25** : 261-277.
- QUILFEN J.P., MILLEVILLE P., 1983. Résidus de culture et fumure animale. Un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *Agron. trop.*, **38** (3) : 206-212.
- RICHARD D., AKHOPE B., BLANFORT V., POUYE B., 1991. Utilisation des zones agricole et pastorale par les ruminants en zone soudanienne (Moyenne Casamance, Sénégal). Communication au IV^e Congrès international des terres de parcours, Montpellier, France, 22-26 avril 1991.
- SCHLEICH K., 1986. Le fumier peut-il remplacer la jachère ? Possibilité d'utilisation du fumier : exemple de la savane d'Afrique occidentale. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **39** (1) : 97-102.
- SEBILLOTTE M., 1985. La jachère. Eléments pour une théorie. In : A travers champs : agronomes et géographes. Paris, ORSTOM, p. 175-229 (Coll. Colloques et séminaires).
- SIGAUT F., 1989. L'innovation mécanique en agriculture. Essai d'une analyse historique comparative. *Cab. Rech.-Dév.*, **21** : 1-9.
- SONKO M.L., 1986. Méthodologie de l'étude des pratiques traditionnelles de fumure animale. L'exemple de la démarche adoptée par l'ISRA en Basse Casamance. In : LANDAIS E., FAYE J., éd. Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale. Actes de l'atelier ISRA de Mbour, Sénégal, 2-8 février 1986. Maisons-Alfort, IEMVT-CIRAD, p. 413-428 (Etudes et synthèses de l'IEMVT, n° 20).
- STOMAL-WEIGEL B., 1988. L'évolution récente et comparée des systèmes de production sereer et wolof dans deux villages du vieux Bassin arachidier (Sénégal). *Cab. ORSTOM, Sér. Sci. hum.*, **24** (1) : 17-34 (numéro spécial sur les systèmes de production).
- TIREL J.C., 1983. Le débat sur le productivisme. *Econ. rur.*, **155** : 23-30.
- TURNER A.G., TAYLOR C.S., 1983. Dynamic factors in models of energy utilization with particular reference to maintenance requirement of cattle. *Wld Rev. Nutr. Diet.*, **42** : 135-190.
- VAN SOEST P.J., ROBERTSON J.B., 1983. Analysis of forages and fibrous foods : a laboratory manual for Animal Science. Cornell University Publ., 202 p.